

**Adaptives Denken von Kindern bei der  
Konstruktion und Nutzung externer Repräsentationen:  
Protokollierung kategorialer und sequentieller  
Informationen**

Abhandlung  
zur Erlangung der Doktorwürde  
der Philosophischen Fakultät  
der Universität Zürich

vorgelegt von  
Andreas Friedrich Rapp  
von  
Deutschland

Angenommen auf Antrag von Herrn Prof. Dr. Friedrich Wilkening

Studentendruckerei, Zürich, 2004

## Adaptives Denken von Kindern bei der Konstruktion und Nutzung externer Repräsentationen: Protokollierung kategorialer und sequentieller Informationen

Externe Repräsentationen wie Zeichnungen und Diagramme können wichtige Hilfsmittel für die Verarbeitung von Informationen und für das Lösen von Problemen sein. Eine externe Repräsentation kann die Verarbeitung von Informationen in der Regel nur dann optimal unterstützen, wenn zentrale strukturelle Merkmale der darzustellenden Information in der externen Repräsentation visualisiert sind. Ziel der Arbeit war zu untersuchen, ob Kinder zwischen 5 und 12 Jahren ( $N = 481$ ) die räumliche Struktur externer Repräsentationen an die kategoriale und an die sequentielle Struktur von Informationen anpassen können. Kinder sollten (a) externe Repräsentationen zur Darstellung kategorialer und sequentieller Informationen *konstruieren* und (b) vorgegebene externe Repräsentationen der kategorialen oder sequentiellen Information *zuordnen*. Mit zunehmendem Alter passten Kinder die räumliche Struktur externer Repräsentationen zunehmend häufiger an die spezifische Struktur von Informationen an. Kindern aller Altersgruppen gelang dies häufiger bei der Zuordnungs- als bei der Konstruktionsaufgabe. Bei der Konstruktionsaufgabe unterstützten externe Einschränkungen eine differenzierte Anpassung der externen Repräsentationen an die verschiedenen Informationen bei Kindern aller Altersgruppen. Dieses Resultat wird mit Altersunterschieden des Umfangs des Arbeitsgedächtnisses und der Verarbeitungseffizienz von Informationen erklärt.

## Children's adaptive construction and use of external representations: Recording categorical and sequential information

Constructing external representations like drawings and diagrams can be an efficient means of information processing and problem solving. They can support information processing particularly well if central structural features of the to-be-represented information are depicted in these external representations. The aim of this study was to investigate whether children from 5 to 12 years of age ( $N = 481$ ) could adapt spatial external representations to both the categorical and sequential structure of presented information. Children were asked to construct external representations to depict categorical and sequential information by using coloured chips to record events displayed on a computer screen. Children placed the chips on external supports which were structured differently. Children were further asked to attribute ready-made external representations depicting categorical and sequential arrangements of chips to categorical or sequential information. The number of children who adapted the spatial structure of external representations to both categorical and sequential information increased with age. Children adapted the external representations to the different information more often in the attribution than in the construction task. The more the external supports were structured the more children of all age groups adapted the external representations. Thus the age differences observed may be partially attributable to developments in working memory and information processing.

# Gliederung

<b>1</b>	<b>THEORIE</b>	<b>1</b>
1.1	Einleitung	1
1.2	<b>Externe Repräsentationen: Ihre Bedeutung in ausgewählten theoretischen Ansätzen und Möglichkeiten ihrer Kategorisierung</b>	<b>6</b>
1.2.1	Zur Bedeutung externer Repräsentationen in ausgewählten theoretischen Ansätzen	6
1.2.2	Kategorisierung von Repräsentationsformen	9
1.2.3	Spezifische externe Repräsentationsformen: Kategoriale und sequentielle Datenprotokolle	14
1.3	<b>Merkmale externer Repräsentationen und ihre Rolle beim Problemlösen</b>	<b>16</b>
1.3.1	Ausgewählte Merkmale externer Repräsentationen und ihre Eignung für eine effiziente Informationsverarbeitung	16
1.3.2	Problemlösen mit Hilfe externer Repräsentationen	21
1.3.3	Zur adaptiven Konstruktion und Nutzung externer Repräsentationen für das Lösen von Problemen	27
1.3.4	Zur Rolle von Metakognition und Planen beim Problemlösen	31
1.4	<b>Konstruktion und Nutzung externer Repräsentationen aus entwicklungspsychologischer Perspektive</b>	<b>36</b>
1.4.1	Ein Modell zur Entwicklung des Verstehens externer Repräsentationen bei Kindern	36
1.4.2	Kategorien zur Einordnung von Studien zur Konstruktion und Nutzung externer Repräsentationen bei Kindern	39
1.4.3	Zum Verstehen kategorialer und sequentieller Informationen bei Kindern	43
1.5	<b>Fragestellungen und Vorüberlegungen zur Durchführung der Studien</b>	<b>47</b>
<b>2</b>	<b>STUDIEN</b>	<b>50</b>
2.1	<b>Studie 1. Konstruktion und Nutzung externer Repräsentationen zur Lösung kategorialer und sequentieller Probleme</b>	<b>50</b>
2.1.1	Methode	50
2.1.2	Auswertungen	56
2.1.3	Ergebnisse	57
2.1.4	Diskussion	63

<b>2.2</b>	<b>Studie 2. Zum Verstehen von Informationskomponenten, die in einem kategorialen und einem sequentiellen Protokoll enthalten sind</b>	<b>67</b>
2.2.1	Methode	68
2.2.2	Ergebnisse	71
2.2.3	Diskussion	74
<b>2.3</b>	<b>Studie 3. Zur Rolle verschieden starker situationaler Einschränkungen bei der Konstruktion externer Repräsentationen zur Lösung kategorialer und sequentieller Probleme</b>	<b>77</b>
2.3.1	Methode	78
2.3.2	Ergebnisse	82
2.3.3	Diskussion	97
<b>2.4</b>	<b>Studie 4. Konstruktion und Nutzung externer Repräsentationen zur Lösung kategorialer und sequentieller Probleme bei einer neuen Rahmengeschichte</b>	<b>101</b>
2.4.1	Methode	102
2.4.2	Ergebnisse	107
2.4.3	Diskussion	112
<b>3</b>	<b>ALLGEMEINE DISKUSSION</b>	<b>114</b>
<b>3.1</b>	<b>Darstellung zentraler Aufgabenformen und der Abfolge von Aufgaben innerhalb jeder Studie</b>	<b>114</b>
3.1.1	Konstruktionsaufgabe und Zuordnungsaufgabe	114
3.1.2	Zur Abfolge spezifischer Aufgaben in den vier Studien	115
<b>3.2</b>	<b>Erkennen Kinder ausgewählte Merkmale und Funktionen von kategorialen und sequentiellen Datenprotokollen?</b>	<b>116</b>
<b>3.3</b>	<b>Adaptive Konstruktion und Nutzung externer Repräsentationen: Passen Kinder die räumliche Struktur externer Repräsentationen an die konzeptuelle Struktur des kategorialen und des sequentiellen Problems an?</b>	<b>117</b>
<b>3.4</b>	<b>Zu einem Modell der Anpassung externer Repräsentationen an die konzeptuelle Struktur von Problemen</b>	<b>123</b>
<b>3.5</b>	<b>Zu „meta-repräsentationalem Verstehen“ bei Kindern</b>	<b>125</b>
<b>3.6</b>	<b>Zur pädagogischen Bedeutung der Ergebnisse</b>	<b>126</b>
<b>3.7</b>	<b>Weiterführende Fragestellungen</b>	<b>127</b>
<b>4</b>	<b>LITERATUR</b>	<b>130</b>

# 1 Theorie

## 1.1 Einleitung

Externe Repräsentationen wie Zeichnungen, Verkehrszeichen, Ziffern, Buchstaben und Diagramme spielen im Alltag von Kindern und Erwachsenen eine bedeutende Rolle. Externe Repräsentationen sind effiziente, zum Teil unentbehrliche Hilfen für die Verarbeitung von Informationen, für das Lösen von Problemen und für die menschliche Kommunikation. Beispielsweise ist es sinnvoll, eine neu zu beziehende Wohnung zunächst auf einem maßstabsgerechten Plan einzurichten, so dass große und schwere Möbel später nicht umgestellt werden müssen. Andere Beispiele von externen Repräsentationen, welche der Veranschaulichung komplexer Sachverhalte dienen und neue Einsichten in diese Sachverhalte ermöglichen können, sind eine Strukturlegetechnik zur Diagnose von Wissensstrukturen (vgl. Scheele & Groeben, 1984) oder die grafische Darstellung von Wissensstrukturen in „mind-maps“ (vgl. Mandl & Fischer, 2000). Auch wissenschaftliches Arbeiten und wissenschaftliche Kommunikation wären ohne grafische Repräsentationsformen kaum vorstellbar (Latour, 1987; Tabachneck-Schijf, Leonardo, & Simon, 1997).

Kinder sind im Verlauf ihrer Entwicklung schon früh mit verschiedenen externen Repräsentationsformen in Kontakt, und sie lernen, symbolische Repräsentationen für verschiedene Ziele zu erstellen (z.B. als „aides-mémoire“). Bei diesem Entwicklungs- und Lernprozess spielen vorschulische und schulische Institutionen eine zentrale Rolle – beispielsweise für den Erwerb von Schrift, von mathematischen Symbolen und von diagrammatischen Repräsentationsformen wie Tabellen und Grafen. Der Erwerb und die Nutzung von externen Repräsentationssystemen hat einen wichtigen Einfluss auf die kognitive und die soziale Entwicklung von Kindern (Karmiloff-Smith, 1979, 1992; Olson, 1986; Olson & Astington, 1993; Vygotsky, 1978).

Die Entwicklung des Verstehens externer Repräsentationen ist ein klassischer Forschungsbereich in der kognitiven Entwicklungspsychologie (z.B. Luria, 1978; Vygotsky, 1962, 1978). Bisherige Forschung zum Verstehen externer Repräsentationen bei Kindern adressierte häufig das Verstehen der Beziehung zwischen Symbolen und ihren Referenten. Dieses Verstehen wurde anhand verschiedener Repräsenta-

tionsformen wie Zeichnungen, Schrift, Ziffern, Modellen von Räumen, Landkarten, musikalischen Notationen, etc. untersucht. Erkennen Kinder beispielsweise, dass verschiedene Symbole auf einer Landkarte unterschiedliche Inhalte darstellen (Liben, 2001)? Oder erstellen Kinder für jeden Ton einer einfachen Tonfolge eine eindeutige Notation, so dass sie die Tonfolge korrekt nachspielen können (Cohen, 1985)?

Nicht untersucht wurde bisher, ob Kinder unterschiedlichen Alters die relative Eignung unterschiedlicher externer Repräsentationsformen zur Darstellung verschiedener Inhalte und damit verbunden zur Lösung spezifischer Probleme verstehen. Eine Tabelle ist beispielsweise zur Darstellung von Kombinationen verschiedener Faktoren geeignet. Hingegen eignet sich ein hierarchisches Diagramm zur Darstellung von Abhängigkeiten auf unterschiedlichen Ebenen. (vgl. Novick & Hurley, 2001).

Ein Verstehen der unterschiedlichen Eignung externer Repräsentationen zur Darstellung verschiedener Inhalte wird als meta-repräsentationales Verstehen bezeichnet (diSessa & Sherin, 2000; Liben, 1999, 2003). Unter meta-repräsentationalem Verstehen werden unter anderem folgende zwei Aspekte gebündelt:

Die Konstruktion externer Repräsentationen angepasst an den jeweils darzustellenden Inhalt.

Eine flexible Zuordnung vorgegebener externer Repräsentationen zu Inhalten, die damit dargestellt werden sollen.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit soll in Weiterentwicklung dieser Konzeption untersucht werden, wie Kinder unterschiedlichen Alters (a) externe Repräsentationen für die Lösung verschiedener Probleme *konstruieren*. Und es soll untersucht werden, wie Kinder unterschiedlichen Alters (b) vorgegebene externe Repräsentationen verschiedenen Problemen, die damit gelöst werden sollen, *zuordnen*.

Im Unterschied zu den oben genannten Beispielen interessiert dabei nicht das Verstehen des Zusammenhangs zwischen Symbol und Referent. Das Interesse ist fokussiert auf die Frage: *Können Kinder unterschiedlichen Alters die räumliche Struktur externer Repräsentationen an die konzeptuelle Struktur verschiedener Probleme anpassen, um diese effizient zu lösen?*

Zur Untersuchung dieser Frage werden die grafenähnlichen Repräsentationsformen des kategorialen Datenprotokolls und des sequentiellen Datenprotokolls gewählt. Mit Protokollieren ist im Rahmen dieser Arbeit das Festhalten des Ablaufs und / oder der Ergebnisse eines Vorgangs gemeint.

In einem *kategorialen Datenprotokoll* werden beobachtete Ereignisse nach Kategorien geordnet dargestellt. Beispielsweise eignet sich eine Strichliste oder ein Balkendiagramm, um auf einen Blick sehen zu können, welches von drei Kindern (Max, Lara, Ernst) nach mehreren Durchgängen eines Würfelspiels am häufigsten gewonnen hat (siehe Abbildung 1.1).

In einem *sequentiellen Datenprotokoll* werden Ereignisse gemäss ihres zeitlichen Auftretens dargestellt. Beispielsweise eignet sich eine Zeitreihe, um darzustellen, in welcher Abfolge die drei Kinder bei einem Würfelspiel nacheinander gewonnen haben (siehe Abbildung 1.1). Eine sequentielle Darstellung von Informationen ist vor allem nützlich, um Regelmäßigkeiten und Trends über die Zeit hinweg identifizieren zu können.

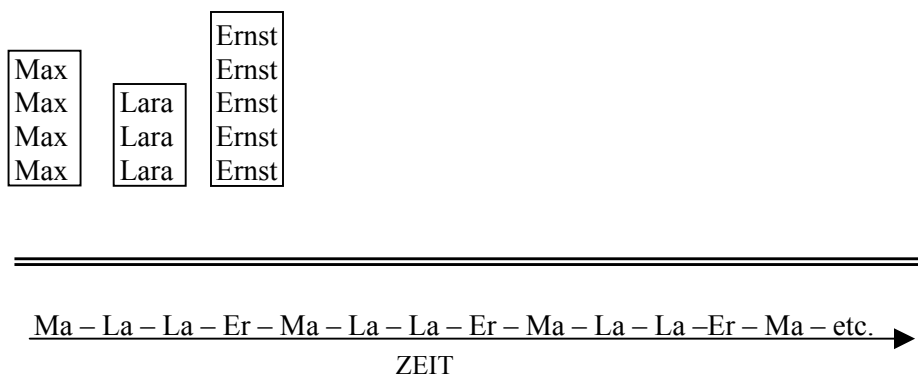


Abbildung 1.1. Beispiele für ein kategoriales Datenprotokoll, das einem Histogramm gleicht (oben) und für ein sequentielles Datenprotokoll, das einer Zeitreihe gleicht (unten).

Die oben dargestellte Fragestellung „Können Kinder unterschiedlichen Alters die räumliche Struktur externer Repräsentationen an die konzeptuelle Struktur verschiedener Probleme anpassen?“ kann auf der Ebene von kategorialem und sequentielltem Protokoll konkretisiert werden:

- **Können Kinder unterschiedlichen Alters für die Lösung von Problemen, die eine kategoriale bzw. eine sequentielle Repräsentation nahe legen (im folgenden als „kategoriales Problem“ und als „sequentielles Problem“ bezeichnet), adäquate Protokollformen konstruieren?**



- **Ordnen Kinder unterschiedlichen Alters vorgegebene kategoriale und sequentielle Datenprotokolle korrekt einem kategorialen und einem sequentiellen Problem zu, welches mit dem jeweiligen Protokoll besser gelöst werden kann?**

Das Verstehen der relativen Eignung externer Repräsentationen für das Lösen spezifischer Probleme ist nicht nur aus entwicklungspsychologischer, sondern auch aus pädagogisch-psychologischer Perspektive von Interesse. Die Betrachtung der unterschiedlichen Eignung externer (grafischer) Repräsentationen zur Darstellung spezifischer Inhalte scheint in der schulischen Ausbildung eher vernachlässigt zu werden. McKendree et al. (2002, p. 62) schreiben dazu: „What is much less often taught is how to search for a representation for a given problem or to understand the abstract properties of the representation that makes it a useful one in a particular instance. It is this which often holds the key to transferring learning from one problem to another.”

Einige der in der Einleitung nur knapp angedeuteten Punkte werden im Theorieteil ausführlicher behandelt. Der **Theorieteil** ist in folgende Abschnitte gegliedert:

In **Kapitel 1.2** wird die *Bedeutung externer Repräsentationen für das menschliche Denken und Handeln in ausgewählten theoretischen Ansätzen* aufgezeigt (Kap. 1.2.1). Anschliessend werden *Möglichkeiten der Kategorisierung externer Repräsentationsformen* vorgestellt (Kap. 1.2.2). Davon ausgehend werden – detaillierter als in der Einleitung – wesentliche Merkmale eines kategorialen und eines sequentiellen Datenprotokolls beschrieben (Kap. 1.2.3).

In **Kapitel 1.3** wird die mögliche *Eignung externer Repräsentationen für eine effiziente Informationsverarbeitung* beim Problemlösen (Kap. 1.3.1) und anhand ausgewählter Beispiele das *Lösen von Problemen mit Hilfe externer Repräsentationen* (Kap. 1.3.2) erörtert. Anschließend wird die Bedeutung der *Anpassung einer externen Repräsentation an die konzeptuelle Struktur eines Problems* für ein effizientes und ökonomisches Problemlösen verdeutlicht (Kap. 1.3.3). Für die Konstruktion externer Repräsentationen, welche an die konzeptuelle Struktur eines spezifischen

Problems angepasst sein soll, können metakognitive, planende Prozesse von Bedeutung sein. Die Rolle von *Metakognition und Planen beim Problemlösen* wird in Kapitel 1.3.4 diskutiert.

In **Kapitel 1.4** wird die *Konstruktion und Nutzung externer Repräsentationen aus entwicklungspsychologischer Perspektive* betrachtet. Dafür wird das Stufenmodell nach Liben (1999, 2003) zur Entwicklung des Verstehens externer Repräsentationen vorgestellt (Kap. 1.4.1). Studien zur Konstruktion und Nutzung externer Repräsentationen bei Kindern werden nach verschiedenen Kategorien geordnet (Kap. 1.4.2). Ausgewählte Studien zum Verstehen von kategorialen und sequentiellen Informationen sowie Fähigkeiten von Kindern unterschiedlichen Alters, solche Informationen über externe Repräsentationen darzustellen, werden in Kapitel 1.4.3 vorgestellt.

In **Kapitel 1.5** werden *übergreifende Fragestellungen* aufgeführt, denen in den vier Studien nachgegangen wird. Weiter werden allgemeine Vorüberlegungen zur Durchführung der Studien beschrieben.

Überschneidungen zwischen einzelnen Kapiteln des Theorieteils lassen sich nicht vermeiden. Einige Sachverhalte werden beispielsweise zunächst in ihrer grundsätzlichen Bedeutung, später in spezifischem Bezug zu der konkreten Fragestellung vorgestellt.

## **1.2 Externe Repräsentationen: Ihre Bedeutung in ausgewählten theoretischen Ansätzen und Möglichkeiten ihrer Kategorisierung**

### **1.2.1 Zur Bedeutung externer Repräsentationen in ausgewählten theoretischen Ansätzen**

Das Wort „Repräsentation“ stammt ab von dem lateinischen „praesentare“, das mit „gegenwärtig machen“, „vergegenwärtigen“ übersetzt werden kann. In der Psychologie werden unter dem Begriff der Repräsentation sowohl interne als auch externe Repräsentationen gefasst. Die meiste Forschung zu Repräsentationen adressierte nach Zhang (1997) vor allem interne Repräsentationen. Externen Repräsentationen wurde beispielsweise in der traditionellen Forschung zur künstlichen Intelligenz häufig nur die Rolle als Stimuli für das interne Denken zugeschrieben (z.B. Newell, 1990). Im Unterschied dazu ist Zhang (1997, p. 184) der Auffassung, dass externe Repräsentationen „...need to be considered seriously, not as something trivial; and they need to be studied on their own right, not as something peripheral to internal representations“.

Externen Repräsentationen wird in verschiedenen Ansätzen der situierten Kognition (vgl. Barwise & Perry, 1983; Clancey, 1999; Greeno, 1989; Lave, 1988; Suchman, 1987) eine wichtige Rolle für das Denken und Handeln zugeschrieben. Eine übergreifende Idee verschiedener Ansätze der situierten Kognition ist, dass menschliches Denken und Handeln nicht nur auf individueller Ebene, sondern besonders auf der Ebene von *Interaktionen* handelnder Personen mit physikalischen und sozialen (soziokulturellen) Kontexten beobachtet und analysiert werden muss (Greeno, 1994). Die Situietheit von Handeln und Denken ist aus entwicklungspsychologischer und aus pädagogischer Perspektive relevant.

Vertreter des Ansatzes der situierten Kognition beziehen sich u.a. auf den *soziokulturellen Ansatz* nach Vygotsky (1978) und auf die *ökologische Psychologie* nach Gibson (1979).

Nachfolgend soll die Bedeutung externer Repräsentationsformen für das menschliche Denken und Handeln am Beispiel ausgewählter theoretischer Ansätze vorgestellt werden: der soziokulturelle Ansatz nach Lev Vygotsky, der ökologische Ansatz nach James J. Gibson und der evolutionäre Ansatz nach Merlin Donald.

#### 1.2.1.1 Zum soziokulturellen Ansatz nach Lev Vygotsky

Vertreter des soziokulturellen Ansatzes sind neben Vygotsky andere russische Psychologen wie Luria und Leontjew. Menschliches Denken und Handeln muss nach Vygotsky innerhalb des sozialen, kulturellen und historischen Kontextes verstanden werden, in dem es stattfindet. Luria (1981, p. 25), ein Schüler und Mitarbeiter von Vygotsky, drückt diesen Gedanken so aus: „In order to explain the highly complex forms of human consciousness, one must go beyond the human organism. One must seek the origins of conscious activity...in the external processes of social life, in the social and historical forms of human existence.“ Menschliches Denken und Handeln wird nach Vygotsky über Werkzeuge (technische Werkzeuge) und Zeichen (psychologische Werkzeuge) einer Kultur vermittelt (Wertsch & Tulviste, 1992). Beispiele für psychologische Werkzeuge sind nach Vygotsky (1981, p. 131) „...language; various systems of counting; mnemonic techniques; algebraic symbol systems; works of art; writing; schemes, diagrams, maps, and mechanical drawings; all sorts of conventional signs; and so on“. Vygotsky beschreibt mit dem Begriff der „psychologischen Werkzeuge“ recht genau die Sachverhalte, die im Rahmen dieser Arbeit unter „externer Repräsentation“ verstanden werden. Der Umgang mit diesen Werkzeugen ändert nach Vygotsky die Struktur mentaler Funktionen und damit die der „inneren Repräsentationen“.

Ein wichtiges Konzept für die Vermittlung und für den Erwerb von psychologischen Werkzeugen ist die „Zone der nächsten Entwicklung“ (vgl. Rapp, 2004b). Sie bezeichnet die Distanz zwischen (a) dem momentanen Entwicklungsstand eines Kindes, der über eigenständiges Problemlösen bestimmt wird und (b) dem Stand der potentiellen Entwicklung, der über das Problemlösen mit Hilfe Erwachsener oder in Kollaboration mit fortgeschritteneren Gleichaltrigen – also in sozialer Interaktion – erreicht werden kann (Vygotsky, 1978). Brown, Ellery und Campione (1998, p. 349) fassen die Idee der „Zone der nächsten Entwicklung“ weiter als Vygotsky: Die Zone der nächsten Entwicklung „...defines the distance between current levels of comprehension and levels that can be accomplished in collaboration with other people or powerful artifacts.“ Das heißt, nicht nur mit Hilfe anderer Personen, sondern auch über andere Hilfsmittel wie beispielsweise einem Computer können sich Kinder in ihrem Wissen und Können weiter entwickeln.

#### 1.2.1.2 Zum ökologischen Ansatz nach James J. Gibson

Die für die Theorie der situierten Kognition wesentliche Beziehung zwischen handelnden Personen und ihrer Umwelt spielt auch in J. J. Gibsons ökologischem Ansatz der Wahrnehmung eine zentrale Rolle. Wahrnehmung ist nach Gibson ein Aspekt der Interaktion eines Menschen oder eines Tieres mit seiner Umwelt (Greeno, 1994). Ein zentrales Konzept bei dieser Interaktion ist die „Affordanz“. Affordanzen sind Objekte und Arrangements in der Umgebung, welche menschliche Handlungen einschränken und begünstigen können. E. J. Gibson (2000) beschreibt die Wahrnehmung einer Affordanz als „...perceiving the relation between some feature of the layout and its use or value to ourselves“. Damit also eine Affordanz wahrgenommen werden kann, muss in der wahrnehmenden Person eine entsprechende Fähigkeit vorhanden sein (Chemero, 2003; Greeno, 1994). Lernen wird aus der situativen Perspektive nach Greeno (1998) als zunehmende Anpassung an Affordanzen und an Einschränkungen (constraints) in der Umwelt betrachtet.

Nach J.J. Gibsons Auffassung können invariante Informationen in der Umwelt *direkt* und ohne die Vermittlung interner Repräsentationen wahrgenommen werden. Diese Auffassung des Zusammenhangs von Wahrnehmen und Handeln ohne die Berücksichtigung interner Repräsentationsformen wird von vielen Wissenschaftlern als zu radikal gesehen (vgl. Fodor & Pylyshyn, 1981; Ullman, 1980). Auch Greeno (1998, p.11), ein Vertreter der situierten Kognition, der viele Ideen von Gibson in seinem Ansatz integriert, schreibt internen Repräsentationsformen eine wichtige Bedeutung zu: „...people ... construct representations of concepts and of general patterns of ideas and activities. The processes of constructing and interpreting such representations are crucially important in social practice and are a fundamentally important topic of scientific inquiry“.

#### 1.2.1.3 Zum evolutionären Ansatz nach Merlin Donald

Donald (1991; 1993) betrachtet die Funktion von externen Repräsentationsformen für das menschliche Denken aus einer evolutionären Perspektive. Donald postuliert, dass sich die kognitive Evolution in drei Schritten der Entwicklung neuer Repräsentationssysteme vollzog: (1) Der erste Schritt ist der Wechsel von der episodischen zur mimischen (mimetic) Kultur. Durch die Entwicklung mimischer Fertigkeiten kann der ganze Körper als Repräsentationswerkzeug verwendet werden. (2) Der zweite Schritt ist der Wechsel von der mimischen zur mythischen Kultur, bei der

sich Sprache entwickelt. (3) Der dritte Schritt ist der Wechsel von der mythischen zur theoretischen Kultur und der externen Speicherung von Symbolen.

Bereits auf den ersten zwei Entwicklungsstufen war es nach Auffassung von Donald möglich, eine gemeinsame repräsentationale Kultur zu entwickeln. Allerdings hing die Speicherung des kollektiven Wissens von dem individuellen Gedächtnis ab. Durch visuosymbolische Repräsentationsformen und durch die Externalisierung des Gedächtnisses auf der dritten Entwicklungsstufe wurden die biologischen Grenzen des Arbeits- und Langzeitgedächtnisses erweitert. Im Unterschied zu den sich ständig verändernden und verschwindenden Inhalten des biologischen Arbeitsgedächtnisses können extern gespeicherte Informationen immer wieder betrachtet, verändert und in ein neues Format gebracht werden.

### **1.2.2 Kategorisierung von Repräsentationsformen**

Im vorigen Kapitel wurde angedeutet, dass der Begriff Repräsentation in der Psychologie sowohl interne als auch externe Repräsentationen umfasst. Nachfolgend werden einige Konzeptualisierungen für interne Repräsentationen knapp aufgeführt. Der Schwerpunkt soll auf der Darstellung möglicher Kategorisierungsformen von externen Repräsentationen und auf der Zuordnung der für die vorliegende Arbeit relevanten kategorialen und sequentiellen Datenprotokolle zu spezifischen Kategorien liegen.

#### **1.2.2.1 Zu internen Repräsentationen**

Rumelhart und Norman (1988) ordnen Forschung zu internen Repräsentationen u.a. den propositionalen, analogen und prozeduralen Repräsentationstypen zu.

Eine *Proposition* ist die kleinste Wissenseinheit, die eine selbständige Aussage bilden und die damit sinnvoll als wahr oder falsch beurteilt werden kann (J. R. Anderson & Graf, 2001). Für Propositionen gibt es unterschiedliche Notationssysteme. Kintsch (1974) beschreibt eine Proposition als eine Struktur, die aus einer Relation und einer geordneten Menge von Argumenten besteht. Beispielsweise enthält der Satz „Vitamin C verhindert Skorbut“ eine Proposition. Dabei ist „verhindern“ die Relation, Argumente sind „Vitamin C“ und „Skorbut“. Propositionen lassen sich als Netzwerk darstellen, in dem ein Knoten eine Proposition repräsentiert. Neues Wissen wird nach diesem Ansatz erworben, wenn eine Proposition mit vorhandenen Propositionen im Netzwerk eines Lernenden verknüpft wird.

In Erweiterung der Netzwerkansätze hat man versucht, thematisch zusammengehörige Wissenseinheiten als *Schema* zu beschreiben. Ein Schema wird als ein ausgrenzbares konzeptuelles Teilsystem in einem Netzwerk aufgefasst, in dem aufgrund von Erfahrungen typische Zusammenhänge eines Realitätsbereichs verallgemeinert repräsentiert sind. Schemata können Sachverhalte von unterschiedlicher Komplexität und Abstraktheit repräsentieren. Ein Schema besitzt Leerstellen, die mit spezifischen Konzepten ausgefüllt werden können. Die Bedeutung von Schemata für den Wissenserwerb kann an einem Beispiel von Anderson, Spiro und Anderson (1978) verdeutlicht werden: Wird einem Erwachsenen ein geografischer Text über ein ihm unbekanntes Land vorgelegt, so wird er auf dem Hintergrund seiner allgemeinen Vorbildung ein Schema über „Land“ zur Verfügung haben, das differenzierte Subschemata zur Assimilation von Information über Topografie, Klima, Ökonomie, etc. umfasst. Jedes Subschemata hat eine eigene Struktur und steht mit anderen Subschemata in verschiedenen Verbindungen. Die Aufgabe für den Lernenden besteht darin, die Lücken in der vorhandenen Wissensstruktur mit den Informationen über das ihm unbekannte Land zu füllen.

Bei *analogen Repräsentationen* besteht zwischen der äußeren Erscheinung und der inneren Repräsentation eine bestimmte Ähnlichkeit. Das heißt, die Struktur der Stimuli bleibt intern in einer quasi-bildlichen Art erhalten.

*Prozedurale Repräsentationen* sind Wissensstrukturen, die Prozeduren darstellen. Beispiele sind Fertigkeiten wie Fahrrad fahren oder das Produzieren von Sprachlauten.

#### 1.2.2.2 Definierende Merkmale externer Repräsentationen

Eine externe Repräsentation muss in Anlehnung an Markman (1999) folgende vier Komponenten aufweisen:

- eine repräsentierte Welt (z.B. die kategoriale oder sequentielle Struktur eines Problems),
- eine repräsentierende Welt (z.B. ein kategoriales und ein sequentielles Datenprotokoll),
- Regeln, nach denen Elemente der repräsentierten Welt auf Elemente der repräsentierenden Welt abgebildet werden (z.B. die Darstellung eines beobachteten Ereignisses mit einem farbigen Punkt, welcher der Kategorie des Ereignisses entspricht),

- Prozesse, mit denen die in der repräsentierenden Welt dargestellten Informationen genutzt werden (z.B. die Schlussfolgerung über die regelhafte Abfolge verschiedener Ereignisse auf Grundlage eines sequentiellen Datenprotokolls).

Nach Liben (1999) müssen externe Repräsentationen etwas anderes sein als der Referent. Sie müssen anders interpretiert und auch anders verwendet werden als der Referent. Zwar bezieht Liben diese Definition auf räumliche externe Repräsentationen, doch können die definierenden Merkmale auch für nicht-räumliche externe Repräsentationen sinnvoll angewendet werden. Unter räumlichen Repräsentationen versteht Liben Repräsentationen, welche Raum über dreidimensionale Objekte (z.B. skalierte Modelle), zweidimensionale grafische Repräsentationen (z.B. Landkarten) oder Sprache (z.B. Längen- und Breitengrade) abbilden.

#### 1.2.2.3 Zur Einordnung kategorialer und sequentieller Datenprotokolle innerhalb verschiedener externer Repräsentationsformen

In der Literatur wird der Begriff der externen Repräsentation unterschiedlich weit gefasst, und externe Repräsentationen werden verschieden kategorisiert. Zhang (1997; in press) beschreibt externe Repräsentationen als Wissen und Strukturen in der Umwelt. Er nennt als Kategorien für externe Repräsentationsformen „Symbole“ (z.B. Schrift), „Dimensionen“ (z.B. bei einem Grafen) und „Objekte“ (z.B. ein Abakus).

Eysenck und Keane (1996) unterscheiden zwischen schriftlichen und grafischen Repräsentationen. Bei schriftlichen Repräsentationen ist die Beziehung zwischen einem linguistischen Symbol und seinem Referenten arbiträr. Hingegen ist bei grafischen Repräsentationen wie Bildern oder Diagrammen die Struktur der Repräsentation der Struktur des dargestellten Referenten zumeist ähnlich. Zu grafischen Repräsentationen zählen Eysenck und Keane (1996) sowohl bildhafte Repräsentationen wie Fotografien, Zeichnungen und Landkarten als auch abstrakte Repräsentationen wie Diagramme, Grafen oder Tabellen.

Es scheint daher sinnvoll, innerhalb der Kategorie der grafischen Repräsentationen Subkategorien zu bilden, bei denen die unterschiedliche Abstraktheit des in der Repräsentation dargestellten Inhalts berücksichtigt wird.



Schnotz (2001) unterteilt grafische Repräsentationen in realistische oder darstellende Bilder, Analogiebilder und logische Bilder.

*Realistische Bilder* wie Zeichnungen, naturalistische Gemälde und Photos haben mit dem dargestellten Inhalt eine hohe Ähnlichkeit.

*Analogiebilder* sind realistische Abbildungen eines Sachverhalts, der in einer Analogie zu dem eigentlich Gemeinten steht. Sie sollen helfen, vorhandenes Wissen aus dem abgebildeten Quellbereich in den neu zu lernenden Zielbereich zu übertragen. Beispielsweise kann eine Pumpe als Analogie zur Funktionsweise des Herzens dienen (Weidenmann, 1997) oder ein Reißverschluss als Analogie für eine DNA-Struktur verwendet werden.

*Logische Bilder* wie Linien-, Balken- und Kreisdiagramme haben meist keine direkt visuell wahrnehmbare Ähnlichkeit mit einem dargestellten Inhalt. Bei logischen Bildern werden Inhalte über arbiträre, durch Konventionen festgelegte Formen dargestellt. Im Unterschied zu Analogiebildern werden bei logischen Bildern abstrakte Zusammenhänge durch räumliche Anordnungen veranschaulicht (siehe Kap. 1.3.1.1). Logische Bilder – wie beispielsweise verschiedene Diagramme – wurden erst im späten 18. Jahrhundert entwickelt. Zwei Europäer, Playfair (GB) und Lambert (CH) waren die ersten, die ihre Anwendung vor allem für die Darstellung ökonomischer und politischer Daten verbreiteten (Tversky, 2001).

*Die in der vorliegenden Studie interessierenden kategorialen und sequentiellen Datenprotokolle, die einem Histogramm und einer Zeitreihe gleichen, lassen sich den logischen Bildern zuordnen.*

Selbstverständlich gibt es Mischformen von grafischen Repräsentationen wie die von Otto Neurath (1936) entwickelte Darstellung des Einflusses von Alkohol auf polizeiliche Einschreitungen in Wien (siehe Abbildung 1.2). In dieser Grafik sind Anteile aus realistischen und aus logischen Bildern kombiniert.

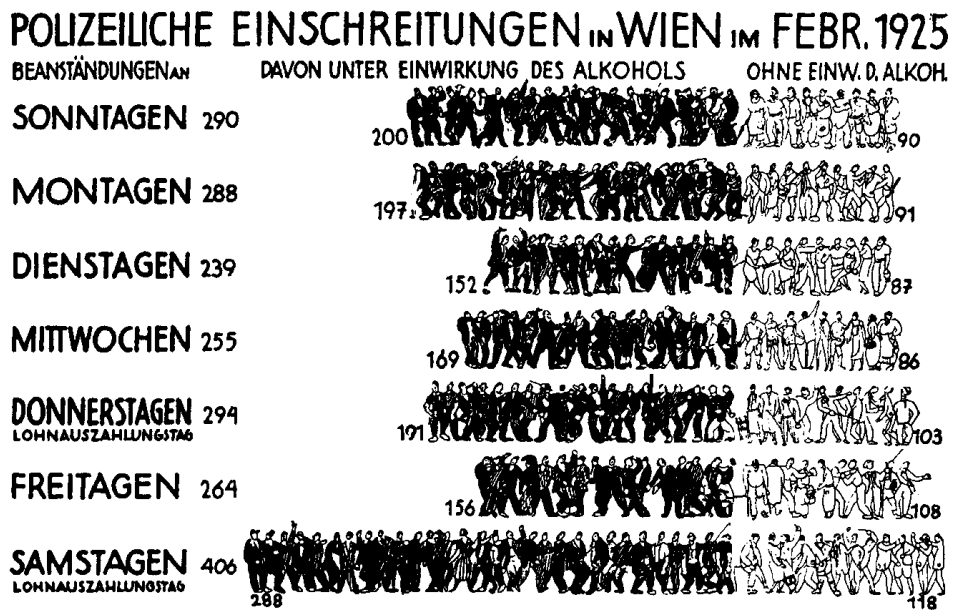


Abbildung 1.2. Neuraths Visualisierung des Einflusses von Alkohol auf polizeiliche Einschreitungen (aus Neurath, 1991, p. 53).

In Abbildung 1.3 wird versucht, die oben aufgeführten Möglichkeiten der Kategorisierung externer Repräsentationsformen zusammenzufassen. Als externe Repräsentationen können konkrete (dreidimensionale) Repräsentationen, grafische Repräsentationen und Sprache bzw. mathematische Formeln voneinander unterschieden werden. Die drei grafischen Repräsentationsformen realistische Bilder, analoge Bilder und logische Bilder bzw. Diagramme unterscheiden sich in der Abstraktheit der repräsentierten Inhalte, die von den realistischen zu den logischen Bildern zunimmt.

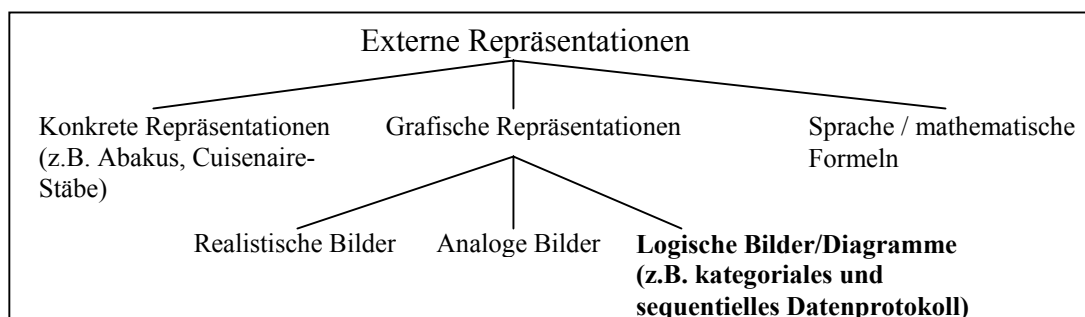


Abbildung 1.3. Kategorisierung externer Repräsentationen.

### 1.2.3 Spezifische externe Repräsentationsformen: Kategoriale und sequentielle Datenprotokolle

In der Einleitung wurde erläutert, dass ein kategoriales und ein sequentielles Datenprotokoll zur Darstellung unterschiedlicher Inhalte geeignet sind:

- In einem *kategorialen Datenprotokoll* werden Daten beim Protokollieren den Kategorien entsprechend dargestellt. Zum Beispiel wird bei einem Balkendiagramm für jedes neu beobachtete Ereignis ein Symbol am passenden Balken hinzugefügt (siehe Abbildung 1.1). Aus einer kategorialen Anordnung von Daten können selbst kleinste Häufigkeitsunterschiede zwischen Kategorien auf einen Blick entnommen werden.
- In einem *sequentiellem Datenprotokoll* werden Daten beim Protokollieren in der Folge ihres zeitlichen Auftretens dargestellt. Zum Beispiel wird bei einer Zeitreihe für jedes neu beobachtete Ereignis ein Symbol an die Zeitreihe angefügt (siehe Abbildung 1.1). In einer Zeitreihe können Trends und eventuelle Regelmäßigkeiten in der Abfolge identifiziert werden.

Eine Besonderheit der zwei Protokollformen ist, dass die Notation von Daten schon automatisch zu dem grafischen Endprodukt führt. Beim wissenschaftlichen Vorgehen werden in der Regel die beiden Prozesse – das Sammeln von Daten und die Konstruktion einer adäquaten Repräsentation – voneinander getrennt.

Das *kategoriale* und das *sequentielle Protokoll* sind in Hinblick auf die spätere Informationsentnahme *asymmetrisch*: Aus einem kategorialen Protokoll können nur kategoriale, aber keine sequentiellen Informationen entnommen werden. Hingegen können aus einem sequentiellen Protokoll sowohl kategoriale als auch sequentielle Informationen entnommen werden. Ein sequentielles Protokoll kann somit in ein kategoriales Protokoll umstrukturiert werden, nicht jedoch vice versa.

Ist die Struktur eines zu lösenden Problems entweder eindeutig kategorial oder eindeutig sequentiell, so ist es aus Gründen einer effizienten Informationsdarstellung und -entnahme sinnvoll, schon während der Protokollierung eine hohe strukturelle Übereinstimmung zwischen Problem und Repräsentation zu versuchen. Unökonomische und aufwendige Transformationen von Daten können dadurch vermieden werden. Diesen Gedanken der möglichst exakten Übereinstimmung zwischen Problemstruktur und räumlicher Struktur einer externen Repräsentation drücken McKendree et al. (2002, p. 62) folgendermaßen aus: „... a good representation

system captures exactly the features of a problem that are important rather than representing everything“. Dieser Punkt wird unter der Perspektive der Anpassung der räumlichen Struktur externer Repräsentationen an die konzeptuelle Struktur verschiedener Probleme in Kapitel 1.3.3 aufgegriffen.

In der vorliegenden Arbeit soll u.a. untersucht werden, ob Kinder unterschiedlichen Alters die relative Eignung eines kategorialen und eines sequentiellen Datenprotokolls zur Lösung eines kategorialen und eines sequentiellen Problems erkennen. Die grafenähnlichen Protokollformen wurden gewählt, da Kinder mit diesen Repräsentationsformen wahrscheinlich noch keine oder nur wenige Erfahrungen gemacht haben. Das Verstehen kategorialer und sequentieller Informationen bei Kindern wird in Kapitel 1.4.3 näher betrachtet.

## 1.3 Merkmale externer Repräsentationen und ihre Rolle beim Problemlösen

### 1.3.1 Ausgewählte Merkmale externer Repräsentationen und ihre Eignung für eine effiziente Informationsverarbeitung

Externe Repräsentationen können effiziente Hilfen für die Verarbeitung von Informationen, für das Lösen von Problemen und für die menschliche Kommunikation sein. Wesentlich für eine effiziente Informationsverarbeitung mit Hilfe externer Repräsentationen ist die Möglichkeit, abstrakte Inhalte in einer externen Repräsentation *räumlich* darzustellen (vgl. Cox & Brna, 1995; Gattis, 2001b; Gattis & Holyoak, 1996; Liben & Downs, 1992; Oestermeier & Hesse, 2000).

#### 1.3.1.1 Zur Darstellung abstrakter Inhalte über die Nutzung räumlicher Schemata

Personen können aus Grafiken, mit denen sie nicht vertraut sind, manche Informationen relativ leicht entnehmen, indem sie Korrespondenzen zwischen Konzepten und räumlichen Anordnungen von Inhalten herstellen. Gattis (2001a) unterscheidet hierbei vier kognitive „constraints“ – im Weiteren als „Einschränkungen“ bezeichnet – welche bestimmte Zuordnungen von Konzepten zu räumlichen Schemata nahe legen: (a) Bildhaftigkeit, (b) Assoziationen, (c) Polarität und (d) strukturelle Ähnlichkeit. Die Ähnlichkeit zwischen repräsentiertem Objekt und Repräsentation nimmt von (a) nach (d) ab. Die Möglichkeit der Darstellung abstrakter Inhalte nimmt von (a) nach (d) zu.

Häufig sind bei der Interpretation und der Konstruktion grafischer Repräsentationen nicht nur eine, sondern mehrere Einschränkungen beteiligt. Für die in der vorliegenden Arbeit relevanten Darstellungen eines *kategorialen* und eines *sequentiellen Datenprotokolls* ist die abstrakte Einschränkung der strukturellen Ähnlichkeit von Bedeutung. Die vier kognitiven Einschränkungen nach Gattis (2001a) sind nachfolgend beschrieben:

*Bildhaftigkeit* meint, dass eine Repräsentation einige Merkmale des repräsentierten Objekts sowie Relationen zwischen repräsentierten Objekten wiedergibt. Ein Beispiel für Bildhaftigkeit sind Piktogramme, die noch in einigen Schriften verwendet werden wie etwa die chinesischen Buchstaben für Berg, Baum und Netz. Weitere Beispiele sind Elemente in Landkarten wie Strassen und Eisenbahnlinien. Die

Einschränkung der Bildhaftigkeit ist somit bei der Kategorie der realistischen Bilder nach Schnotz (2001) von Bedeutung (siehe Kap. 1.2.2.3).

Unter *Assoziation* ist die Darstellung von Merkmalen, die mit Objekten assoziiert sind, zu verstehen. Nicht dargestellt werden jedoch die Objekte selbst. Ein Beispiel für eine Interpretation von Linienzeichnungen in assoziativer Form beschreibt Werner (1978): Kinder scheinen Linienzeichnungen so zu interpretieren als stellten sie haptische und kinästhetische Qualitäten dar. Einem spitzen Winkel wird beispielsweise zugeschrieben, er stelle etwas dar, das sticht. Bei einem Balkendiagramm ist die Assoziation „größer“ entspricht „mehr“ von Bedeutung (vgl. Abbildung 1.2 von Neurath).

*Polarität* bedeutet, dass eine Repräsentation mit dem dargestellten Inhalt eine Struktur der Gegensätze oder der Richtung teilt. Ein Beispiel dafür sind die Begriffe „gut“ und „schlecht“.

*Strukturelle Ähnlichkeit* meint, dass eine Repräsentation mit dem repräsentierten Objekt eine relationale Struktur teilt. Bei Abbildungen, die auf strukturellen Ähnlichkeiten basieren, werden Elemente auf Elemente, Relationen auf Relationen und Relationen höherer Ordnung wie die Steigung in einem Grafen auf Relationen höherer Ordnung abgebildet.

Das Prinzip der strukturellen Ähnlichkeit spielt auch beim analogen Denken eine wichtige Rolle. Analoges Denken wird beschrieben als die Identifikation von Korrespondenzen zwischen zwei Systemen und dem Transfer einer Beziehungsstruktur von einem System auf ein anderes System (vgl. Gentner & Markman, 1997; Holyoak & Thagard, 1997; Markman & Gentner, 2001; Vosniadou, 1995).

#### 1.3.1.2 Externe Repräsentationen als externes Gedächtnis

Verschiedene Autoren unterscheiden zwischen internen und externen Gedächtnishilfen (z.B. Cary & Carlson, 2001; Di Vesta & Gray, 1972; Donald, 1993; Intons-Peterson & Fournier, 1986; Miller, Galanter, & Pribram, 1960; Schoenpflug, 1986). Beispiele für interne Gedächtnishilfen sind das mentale Wiederholen und die Methode der Loci (Sternberg, 1999; F. A. Yates, 1969). Beispiele für externe Gedächtnishilfen sind schriftliche Notizen und die Platzierung von Gegenständen an bestimmten Orten wie beispielsweise die Anordnung von Lebensmitteln in der Reihenfolge, wie sie gemäss Kochbuch für den Kochprozess benötigt werden. Für das Lösen von Aufgaben scheinen Personen die Anteile interner und externer Ressourcen in Abhängigkeit verschiedener Faktoren wie (a) dem Aufwand der Erstellung exter-

ner Repräsentationen und (b) der Expertise im Umgang mit bestimmten Aufgaben flexibel zu verteilen (Cary & Carlson, 2001).

Die Nutzung externer Gedächtnishilfen scheint für Erwachsene und für Kinder in vielen Situationen naheliegender zu sein als die Nutzung interner Gedächtnishilfen. Erwachsene nannten in einer Studie von Intons-Peterson und Fournier (1986) für verschiedene Situationen, in denen Informationen gespeichert werden müssen, externe Gedächtnishilfen etwas häufiger als interne Gedächtnishilfen. In einer Studie von Kreutzer, Leonard und Flavell (1975) nannten Kinder im Kindergartenalter, sowie Kinder der ersten, der dritten und der fünften Klasse häufiger externe als interne Gedächtnishilfen um zu erinnern, am nächsten Tag Schlittschuhe in die Schule mitzunehmen. Die häufigsten Erinnerungsstrategien innerhalb jeder Altersgruppe waren die Nutzung der Schlittschuhe selbst und das Erstellen von Notizen. Weniger häufig wurde angegeben, dass andere Personen als Erinnerungshilfen dienen könnten oder dass man versucht, sich ohne externe Hilfen zu erinnern.

#### 1.3.1.3 Vereinfachung komplexer Situationen mit externen Repräsentationen

Externe Repräsentationen können komplexe Situationen vereinfachen (Lynch, 1990) und abstrakte Konzepte konkretisieren (Winn, 1989). Larkin und Simon (1987) unterscheiden zwischen der Informationseffizienz und der Berechnungseffizienz von Repräsentationen. Zwei Repräsentationen haben die gleiche Informationseffizienz, wenn aus beiden Repräsentationen die gleichen Informationen entnommen werden können. Zwei Repräsentationen haben die gleiche Berechnungseffizienz, wenn sie die gleichen Informationen darstellen und zudem eine Schlussfolgerung auf Grundlage beider Repräsentationen vergleichbar leicht und schnell („easily and quickly“, p. 67) gezogen werden kann. Diagramme haben gegenüber schriftlichen Repräsentationen häufig den Vorteil einer größeren Berechnungseffizienz. Diese Berechnungseffizienz resultiert u.a. daraus, dass zusammenhängende Informationen in einem Diagramm räumlich gruppiert werden können. Lange Suchprozesse sind somit nicht erforderlich. Auf diese Erklärung wird in Zusammenhang mit dem Gestaltgesetz der Nähe eingegangen (siehe Kap. 1.3.1.4).

Die hohe Berechnungseffizienz von Diagrammen erklären Stenning und Mitarbeiter (Stenning, 1999; Stenning & Lemon, 2001; Stenning & Oberlander, 1995) mit der geringen Expressivität von Diagrammen im Unterschied zu schriftlichen Beschreibungen desselben Inhalts. Relationen zwischen Inhalten müssen bei einem Diagramm in der Regel spezifiziert und determiniert sein, während sie in schriftli-

cher Form unspezifiziert bleiben können. Beispielsweise kann man sagen bzw. schreiben, dass der Löffel oberhalb des Tellers und die Gabel neben dem Teller liegen. Diese Situation kann jedoch nicht gezeichnet werden, ohne dabei festzulegen, ob die Gabel rechts oder links von dem Teller liegt.

#### 1.3.1.4 Externe Repräsentationen können effiziente Urteile auf perzeptueller Grundlage ermöglichen

Urteile auf Grundlage schriftlicher Repräsentationen können aufwändige Suchprozesse und deduktive Inferenzen erfordern. Grafische Darstellungen können diese bearbeitungsintensiven Prozesse durch unaufwändige perzeptuelle Inferenzen ersetzen (Barwise & Perry, 1983; Larkin & Simon, 1987; Tversky, 2001).

Wesentlich für schnelle und effiziente Urteile auf Grundlage perzeptueller Informationen können die Gestaltgesetze der Wahrnehmungsorganisation sein (Kosslyn, 1994; Pinker, 1990; Wertheimer, 1938). Nach dem Gesetz der Nähe werden Elemente, die räumlich nahe liegen, zu Einheiten gruppiert. Ein Beispiel dafür ist die automatische Zuordnung von Beschriftungen in einem Diagramm zu der am nächsten liegenden grafischen Komponente. Das Gesetz der Nähe spielt bei der Wahrnehmung von Daten bzw. Inhalten auf Nominalskalenniveau eine besonders wichtige Rolle, beispielsweise durch die räumliche Gruppierung von Elementen aus einer Kategorie und durch die räumliche Distanz zwischen Kategorien. Das Gesetz der Nähe ist damit auch relevant für die Gestaltung und Wahrnehmung eines *kategorialen Datenprotokolls*. Weitere Gestaltgesetze sind das Gesetz der guten Fortsetzung und das Gesetz der guten Gestalt, welche möglicherweise bei der Wahrnehmung eines *sequentiellen Datenprotokolls* von Bedeutung sind (Zacks & Tversky, 1999).

Bei der Wahrnehmung und Bearbeitung grafischer Repräsentationen scheint das visuell-räumliche Hilffsystem („visuospatial sketchpad“) des Arbeitsgedächtnisses beteiligt zu sein. Das Arbeitsgedächtnis setzt sich nach dem Modell von Baddeley (1990) und Mitarbeitern aus der zentralen Exekutive und den zwei Hilffsystemen (a) phonologische Schleife und (b) visuell-räumliches System zusammen. Die zentrale Exekutive ist ein Kontrollsystem, welches für die Überwachung und Koordinierung von Operationen der zwei Hilffsysteme, für die Auswahl von Strategien und für die Koordinierung von Informationen im Arbeitsgedächtnis mit Informationen im Langzeitgedächtnis zuständig ist. Für eine Unterscheidung zwischen



dem sprachlichen und dem visuell-räumlichen Hilffssystem spricht u.a., dass die Bewältigung von visuell-räumlichen Anforderungen nicht durch die Bearbeitung verbaler Anforderungen, sondern durch andere Konkurrenzttigkeiten beeinträchtigt wird.

Innerhalb des visuell-räumlichen Hilffsystems werden ein System zur Verarbeitung visueller Informationen und ein System zur Verarbeitung räumlicher Informationen unterschieden (vgl. Logie, 1995). Die Enkodierung visueller Informationen scheint mit Aufmerksamkeitswechseln der zentralen Exekutive einherzugehen (Baddeley, 1990). Hingegen scheinen räumliche Informationen automatisch und unabhängig von der Aufmerksamkeit enkodiert zu werden (vgl. Mandler, Seegmiller, & Day, 1977). Diese automatische Enkodierung räumlicher Informationen scheint für effiziente und schnelle Urteile auf perzeptueller Grundlage verantwortlich zu sein.

#### 1.3.1.5 Externe Repräsentationen können als Mittel zur Kommunikation dienen

Die Konstruktion externer Repräsentationen wie z.B. Grafiken ermöglicht es, private mentale Konzeptualisierungen öffentlich zu machen. Externe Repräsentationen können somit von mehreren Menschen unabhängig von Zeit und Raum geteilt, überprüft und revidiert werden (Tversky, 2001). Durch Zeigen oder andere Formen der Bezugnahme auf eine externe Repräsentation kann die Kommunikation zwischen mehreren Personen erleichtert werden (Engle, 1998).

#### 1.3.1.6 Externe Repräsentationen ermöglichen neue Einsichten in einen dargestellten Inhaltsbereich

Über die Konstruktion und Nutzung abstrakter Repräsentationen können neue Einsichten in einen dargestellten Inhaltsbereich gewonnen werden (DeLoache, Miller, & Pierroutsakos, 1998). Beispielsweise kann die Reduktion in der Grösse eines grossen Referenten (von Stadt zu Stadtmodell) Einsichten ermöglichen, die mit dem Referenten allein kaum möglich wären. Ein berühmtes Beispiel für die Möglichkeit, mit Hilfe einer externen Repräsentation neue Einsichten gewinnen zu können, ist die Cholerakarte von Dr. John Snow. Snow suchte nach Ursachen für den Choleraausbruch von 1853/54 in London. Zu dieser Zeit wurde die Ursache der Cholera in Ausdünstungen aus dem Schlamm der Themse gesehen. Snow vermutete, die Ursache der Krankheit liege an verseuchtem Wasser. Er markierte die Wohnorte von 500 Opfern auf einer Strassenkarte von Soho (Abbildung 1.4) und erkannte

dadurch, dass sich alle Opfer mit Wasser aus der Pumpe bei der Broad Street versorgt hatten.



Abbildung 1.4. Darstellung der Orte von Todesfällen bei dem Ausbruch der Cholera 1853/54 in London (aus Tufte, 1983, p. 24).

### 1.3.2 Problemlösen mit Hilfe externer Repräsentationen

#### 1.3.2.1 Zu verschiedenen Problemräumen

Das Lösen von Problemen wird häufig als Absuchen eines Problemraums beschrieben, der aus verschiedenen Problemzuständen besteht (J. R. Anderson & Graf, 2001; Dunbar, 1998; Newell & Simon, 1972). Ausgehend von einem Ausgangszustand gibt es mehrere Wege, um zu einem Zielzustand zu gelangen. Die verschiedenen Zustände, die ein Problemlöser auf dem Weg zu einem Ziel potentiell erreichen kann, definieren einen Problemraum. Ein Problemraum besteht also aus einem Labyrinth von Zuständen und von Operatoren, welche von einem zum nächsten Zustand führen. Die Lösung eines Problems wird durch Suche erreicht; das heißt, der Problemlöser muss einen angemessenen Weg durch das Labyrinth von Zuständen finden.

Diese Beschreibung eines Problemraums bezieht sich vor allem auf wohlstrukturierte Probleme, bei denen alle möglichen Zustände auf dem Weg zur

Problemlösung a priori beschrieben werden können. Für die vorliegende Arbeit wird eine weiter gefasste Definition von Problemraum verwendet, die auch für schlecht-strukturierte Probleme gelten soll. Ein zentraler Bestandteil dieser Definition sind externe Repräsentationen als Hilfsmittel für die Lösung von Problemen:

Ein Problemraum umfasst mögliche Hypothesen (Hypothesenraum) und mögliche Strategien (Strategieraum) zur Problemlösung sowie Möglichkeiten der Konstruktion und Nutzung externer Repräsentationen zur Lösung eines Problems (externer Repräsentationsraum).

Klahr und Dunbar (1988) differenzieren im Rahmen wissenschaftlichen Denkens und Problemlösens vergleichbar zwischen einem Raum möglicher Hypothesen und einem Raum möglicher Experimente. Der Raum möglicher Experimente entspricht den möglichen Strategien in der obigen Definition.

Schunn und Klahr (1996) sowie Klahr und Simon (1999) erweitern den Raum möglicher Hypothesen und den Raum möglicher Experimente um einen *Problemraum der Datenrepräsentation* („representation space“), welcher der Konstruktion und Nutzung angemessener externer Repräsentationen entspricht. Klahr und Simon (1999, p. 538) beschreiben den Datenrepräsentationsraum und die Suche darin folgendermaßen: „In the data representation space, representations or abstractions of the data are chosen from the set of possible features. What people search for in this space is an effective and informative way to represent the phenomena they are observing“. Als Beispiel für eine effiziente Repräsentationsform führen Schunn und Klahr (1996) die grafische Darstellung der Beziehung zwischen Variablen an. Klahr und Simon (1999, p. 539) betonen die für die vorliegende Arbeit zentrale Idee der relativen Eignung externer Repräsentationen zur Darstellung von Inhalten: „... finding the right representation is crucial, and it requires heuristic search, with all of its associated weak methods, in a large space of possibilities.“

Wird Problemlösen als Suche in verschiedenen Problemräumen wie den „spaces of theories and experiments...but also spaces of problems, of phenomena, of representations, and others“ (Simon, 1989, p. 376) betrachtet, so können verschiedene Formen menschlichen Denkens und Handelns als eine Form des Problemlösens bezeichnet werden. Beispiele für Problemlösen sind nach Simon (1989) Schachspieler, die Spielzüge wählen, Versuchsteilnehmer, die im Labor das Turm von Hanoi Problem bearbeiten, Ärzte, die Diagnosen erstellen, Computerverkäufer, die das

Computersystem an die Bedürfnisse eines Kunden anpassen, Architekten, welche Gebäude planen und Chemiker, welche neue Moleküle synthetisieren. Nach dieser weit gefassten Beschreibung von Problemlösen kann auch die für die vorliegende Arbeit relevante Konstruktion und Nutzung externer Repräsentationen zur Lösung von Aufgaben als eine Form des Problemlösens verstanden werden.

#### 1.3.2.2 Kognitive und situationale Einschränkungen

Der Weg, der von einem Problemlösenden eingeschlagen wird, ist in der Regel durch eine Vielzahl von Einschränkungen (constraints) determiniert. Diese Einschränkungen können die Wahrnehmung verschiedener Aspekte eines Problemraums – Hypothesenraum, Strategieraum, externer Repräsentationsraum – beeinflussen. Cary und Carlson (1999) unterscheiden zwischen kognitiven und situationalen Einschränkungen.

Beispiele für *kognitive Einschränkungen* sind das Aufgabenverständnis und die Verarbeitungskapazität eines Problemlösenden. Das Verstehen einer Aufgabe kann beispielsweise die Zielstrukturen einer Person beeinflussen. In Abhängigkeit von dem Arbeitsspeicher und der Verarbeitungskapazität eines Problemlösenden können mehr oder weniger aufgabenrelevante Informationen im Gedächtnis behalten und verarbeitet werden. Dies könnte die Zahl möglicher Lösungswege einschränken. Beim Problemlösen *interagieren kognitive Einschränkungen mit dem externen Kontext, der über situationale Einschränkungen beschrieben werden kann.*

*Situationale Einschränkungen* beziehen sich auf die Umstände, unter denen eine Aufgabe gelöst werden soll.

Situationale Einschränkungen sind beispielsweise verschiedene Materialien, die für eine Problemlösung verwendet werden können. In Abhängigkeit von *bereit gestellten Materialien* achten Problemlösende möglicherweise auf unterschiedliche Bereiche des Problemraums und können daher ein Problem mehr oder weniger gut lösen.

Eine andere situationale Einschränkung ist die Vorlage eines *Beispiels* für eine Problemlösung (z.B. Chi, Bassok, Lewis, Reimann, & Glaser, 1989; LeFevre & Dixon, 1986). Beispiele scheinen Zielstrukturen zu vermitteln und besonders bei dem

erstmaligen Lösen einer Aufgabe die kognitive Beanspruchung zu reduzieren (Cary & Carlson, 1999).

Nachfolgend wird an der Studie von Zhang und Norman (1994) dargestellt, welchen Einfluss interne und externe Einschränkungen auf das Lösen von Problemen haben können. Es soll verdeutlicht werden, dass die Effizienz des Lösens von Problemen davon abhängen kann, wie relevante Informationen für das Problemlösen auf interne und externe Repräsentationen verteilt sind.

#### 1.3.2.3 Zum Einfluss der Verteilung von Informationen auf interne und externe Repräsentationen für das Lösen von Problemen

Zhang und Norman (Zhang, 1997, 2000; Zhang & Norman, 1994) entwickelten die sog. Theorie der distribuierten Repräsentationen, in der die Rolle von internen und externen Repräsentationen beim Problemlösen beschrieben wird. Die Theorie der distribuierten Repräsentationen ist konsistent mit der Theorie der situierten Kognition (siehe Kap. 1.2.1). Nach der Theorie der situierten Kognition werden Aktivitäten von Menschen durch den physikalischen und sozialen Kontext, in dem sie situiert sind, geleitet, eingeschränkt und zum Teil determiniert.

Zhang und Norman (1994) beschreiben im Rahmen ihrer Theorie den sog. Repräsentationseffekt, nach dem verschiedene isomorphe Repräsentationen zu verschiedenen kognitiven Verhaltensweisen führen können. Sie nennen als Beispiel die Repräsentation von Zahlen: obwohl arabische und römische Ziffern die gleichen Zahlen repräsentieren, können wir leichter mit arabischen als mit römischen Ziffern rechnen (z.B. ist  $73 \times 27$  leichter zu berechnen als  $LXXIII \times XXVII$ ).

Der Repräsentationseffekt beim Problemlösen wurde bei verschiedenen wohlstrukturierten Problemen wie dem Turm von Hanoi Problem (z.B. Kotovsky & Fallside, 1989; Kotovsky, Hayes, & Simon, 1985; Simon & Hayes, 1976), dem Hobbit-Orcs Problem (z.B. Greeno, 1974) und der Wason's selection task (z.B. Cheng & Holyoak, 1985) untersucht. Es zeigte sich, dass verschiedene Darstellungsformen eines Problems die Problemschwierigkeit beeinflussen können, selbst wenn die formale Struktur der Aufgaben identisch ist. Allerdings wurde bei den meisten Studien zum Repräsentationseffekt auf interne Repräsentation fokussiert. Falls der Einfluss von externen Repräsentationen auf das Problemlösen berücksichtigt wurde, so wurde nach Zhang und Norman (1994) der Einfluss externer Repräsentationen von internen Repräsentationen nicht klar getrennt.

Davon ausgehend versuchten Zhang und Norman (1994), die Auswirkungen unterschiedlicher Verteilungen von Informationen auf interne und externe Repräsentationen für das Lösen von Problemen zu untersuchen. Die Studie wurde mit Variationen des Turm von Hanoi (TvH) Problems durchgeführt. Die Materialien bei dem TvH Problem bestehen aus drei Scheiben unterschiedlicher Größe und einem Brett, auf dem drei Stäbe angebracht sind (siehe Abbildung 1.5).

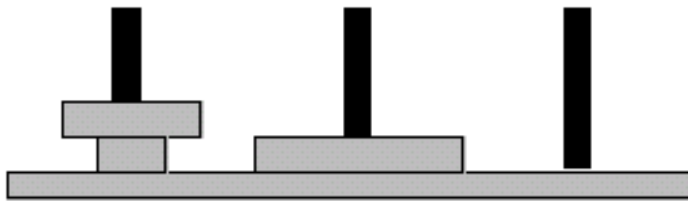


Abbildung 1.5. Das TvH Problem. Ziel des Problems ist, die drei Scheiben nach vorgegebenen Regeln, die im Text beschrieben sind, zwischen den Stäben umzuordnen.

Die Versuchsteilnehmer sollten die Scheiben, die auf einem der äußeren Stäbe steckten, auf den anderen äußeren Stab nach vorgegebenen Regeln transferieren. Folgende Regeln wurden in der Studie verwendet<sup>1</sup>: Nach Regel 1 darf immer nur eine Scheibe umgesteckt werden. Nach Regel 2 darf eine Scheibe nur auf einen Stab gesteckt werden, auf dem sie die größte Scheibe ist. Nach Regel 3 darf immer nur die größte Scheibe, die auf einem Stab steckt, auf einen anderen Stab umgesteckt werden. Jede der drei Regeln kann entweder über interne oder über externe Repräsentationen implementiert werden. Bei der Orangenversion des TvH Problems wurden drei Plastikbälle verwendet (Abbildung 1.6). Alle drei Regeln mussten intern repräsentiert werden. Die Versuchsteilnehmer mussten sich somit alle Regeln merken. Bei der Donutversion (die dem Standardproblem des Turm von Hanoi am meisten gleicht) wurden Plastikringe verwendet. Regeln 1 und 2 mussten intern repräsentiert werden und Regel 3 war extern repräsentiert, da es nicht möglich ist, einen kleineren Donut zu bewegen, ohne den größeren, der auf dem kleinen liegt, zuerst zu bewegen. Bei der Kaffeeverversion waren alle Tassen mit Kaffee gefüllt. Regel 1 war intern und Regeln 2 und 3 waren extern repräsentiert. Eine kleinere Tasse Kaffee konnte nicht

---

<sup>1</sup> Die hier dargestellten Regeln weichen von den Regeln des typischen TvH Problems ab. Üblicherweise befindet sich beim Ausgangszustand des Problems die größte der drei Scheiben unten und die kleinste ganz oben auf dem gleichen Stab. Die gleiche Konfiguration soll auf einem anderen Stab mit möglichst wenig Umordnungen von Scheiben erstellt werden. Für die Umordnung der Scheiben müssen zwei Regeln beachtet werden: Immer nur eine Scheibe darf umplatziert werden und eine größere Scheibe darf nicht auf einer kleineren Scheibe liegen.

auf eine größere Tasse gestellt werden (externe Regel 2) und eine Tasse konnte nicht bewegt werden, wenn eine andere Tasse darauf stand (externe Regel 3).

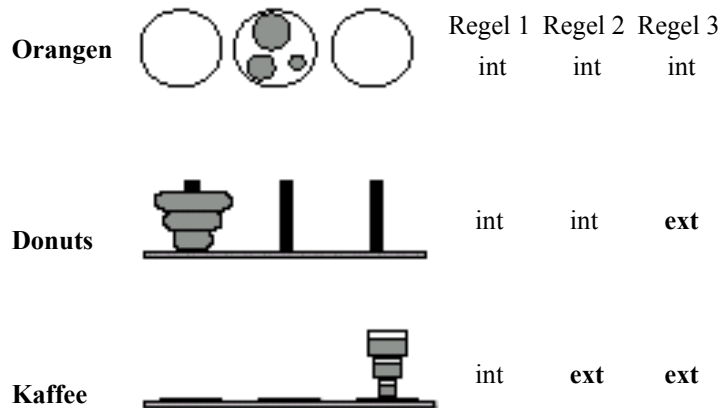


Abbildung 1.6. Drei Isomorphe des Turm von Hanoi Problems (aus Zhang, 2000).

Der Umfang an Informationen in den externen Repräsentationen nimmt in folgender Abfolge zu: Orangenproblem < Donutproblem < Kaffeeproblem. Alle drei Aufgaben haben die gleiche abstrakte Aufgabenstruktur bzw. den gleichen Problemraum. (Der Problemraum setzt sich aus allen möglichen Zuständen und Veränderungen, die mit den Regeln möglich sind, zusammen.) Für die Problemlösung sind mindestens 7 Veränderungen von Scheiben erforderlich. Je mehr Informationen extern vorhanden waren, desto schneller lösten die erwachsenen Versuchsteilnehmer das Problem, desto weniger Schritte benötigten sie für die Problemlösung und desto weniger Fehler machten sie. Zhang & Norman (1994) ziehen daraus folgende Schlüsse:

- (a) Externe Repräsentationen beinhalten Informationen, welche direkt wahrgenommen und ohne explizite Interpretation verwendet werden können. Auf diese Eignung externer Repräsentationen für die Verarbeitung von Informationen wurde in Kapitel 1.3.1 eingegangen.
- (b) Externe Repräsentationen können kognitives Verhalten einschränken und erleichtern. Das heißt, die physikalischen Strukturen in den externen Repräsentationen schränken den Umfang möglicher kognitiver Handlungen ein, indem einige Handlungen möglich und andere unmöglich sind (vgl. Kap. 1.3.2.2).
- (c) Externe Repräsentationen verändern die Form von Aufgaben. Aufgaben mit oder ohne externe Repräsentationen sind verschiedene Aufgaben aus Sicht eines Problemlösenden, selbst wenn die abstrakte Aufgabenstruktur identisch ist.

Zusammengefasst kann Problemlösen als Absuchen eines Problemraums beschrieben werden, der mögliche Hypothesen (Hypothesenraum), mögliche Strategien zur Problemlösung (Strategieraum) sowie verschiedene Möglichkeiten der Konstruktion und Nutzung externer Repräsentationen zur Lösung eines Problems (externer Repräsentationsraum) umfasst. Die Beachtung verschiedener Bereiche des Problemraums kann durch kognitive und situationale Einschränkungen beeinflusst sein. Ein Beispiel für eine situationale Einschränkung ist die externe Darstellung von Informationen zu einem Problem, welche dadurch nicht mehr intern gespeichert werden müssen. Wie in der Studie von Zhang und Norman (1994) dargestellt, können situationale Einschränkungen mögliche Handlungsalternativen einschränken und damit das Lösen eines Problems erleichtern. Diese hier vorgestellten Befunde und Überlegungen haben Bedeutung für die Planung, Durchführung und Interpretation eigener Fragestellungen, die in Kapitel 1.5 näher ausgeführt sind.

### **1.3.3 Zur adaptiven Konstruktion und Nutzung externer Repräsentationen für das Lösen von Problemen**

In den Kapiteln 1.3.1 und 1.3.2 wurde beschrieben, wie externe Repräsentationen das Lösen von Problemen effizient unterstützen können. Allerdings kann eine externe Repräsentation das Lösen eines Problems nur dann optimal unterstützen, *wenn zentrale Merkmale des Problems in der externen Repräsentation abgebildet und irrelevante Merkmale nicht dargestellt sind* (vgl. Cox, 1999; Gurr, Lee, & Stenning, 1998; Kosslyn, 1994; McKendree et al., 2002; Novick & Hmelo, 1994; Novick & Hurley, 2001; Sanfey & Hastie, 1998; Tweney, 2001).

Nur bei einer optimalen Abbildung von Inhalten in einer externen Repräsentation – beispielsweise gemäss dem in Kapitel 1.3.1 dargestellten Prinzip der strukturellen Ähnlichkeit – können die oben genannten Vorteile externer Repräsentationen für die Informationsverarbeitung ausgeschöpft werden. Soll eine Person beispielsweise zuerst ein kategoriales und dann ein sequentielles Problem mit Hilfe einer externen Repräsentation lösen, so ist es wichtig, dass die räumliche Struktur der externen Repräsentation flexibel an das jeweilige Problem angepasst wird. Novick und Hurley (2001, p. 162) drücken diesen Gedanken einer optimalen Übereinstimmung der Struktur eines darzustellenden Inhalts mit der Struktur einer externen Repräsentation folgendermaßen aus: „Determining the appropriate representation to



use depends on assessing the degree of fit between the structure of the information to be represented and the structures of various representations.”

Flexibilität bzw. Adaptivität beim Lösen eines bestimmten Problems kann aufgrund von Vorerfahrungen mit dem Lösen ähnlicher Probleme eingeschränkt sein. Wertheimer (1945) spricht in diesem Zusammenhang von „hässlichem Regeldenken“, welches er u.a. am Beispiel der Bestimmung der Fläche eines Parallelogramms beobachtete. Mit hässlichem Regeldenken meinte Wertheimer ein uneinsichtiges, „blindes“ Anwenden eines Vorgehens, welches bei bestimmten Problemstrukturen erfolgreich war, jedoch bei einem neuen Problem nicht adäquat ist. Luchins und Luchins (1950; 1969) haben Wertheimers Idee eines Einstellungseffekts aufgegriffen. Sie untersuchten den Einstellungseffekt beim Problemlösen mit den sog. Wasserkrug-Aufgaben. Bei diesen Aufgaben waren externe Repräsentationen nicht von Bedeutung. Den Versuchsteilnehmern wurde das Fassungsvermögen von mehreren Krügen (z.B. 5 Tassen, 18 Tassen, 40 Tassen) beschrieben. Die Aufgabe bestand darin, mit Hilfe der Krüge eine bestimmte Wassermenge (z.B. 28 Tassen) abzufüllen. Bei einem Problem konnte die erforderliche Menge über Addition und bei einem anderen Problem über Subtraktion erreicht werden. Luchins und Luchins beobachteten, dass sich bei den Versuchsteilnehmern durch wiederholtes Bearbeiten von Additionsproblemen eine Art „Additions-Einstellung“ bzw. ein Einstellungseffekt entwickelte: Die Probanden lösten neue Additionsprobleme schneller und Subtraktionsprobleme langsamer als eine Kontrollgruppe, die nicht geübt hatte. Zudem behielten Versuchsteilnehmer eine Problemlösestrategie nach ihrer wiederholten Anwendung bei, obwohl durch die Veränderung des Problems eine andere Strategie ökonomischer gewesen wäre.

Aus entwicklungspsychologischer Perspektive beschreiben Anderson und Wilkening (1991) und Wilkening (1989) im Rahmen der Informationsintegrationstheorie (N. H. Anderson, 1981) Adaptivität als Anpassung von Wissen an unterschiedliche situationale Einschränkungen. Die Autoren sehen adaptives Denken als die Fähigkeit von Kindern, sich auf die Anforderungen einer Aufgabensituation einzustellen und ihr Potential von Lösungsmöglichkeiten flexibel einzusetzen. Dabei kann Wissen und Denken unterschiedlicher Art und Qualität zusammenwirken. Diese Vorstellung weicht ab von traditionellen entwicklungspsychologischen

Stufenmodellen, nach denen sich das Denken innerhalb einer Stufe über verschiedene Inhaltsbereiche hinweg in gleicher Qualität ausdrückt und nach gleichen Prinzipien funktioniert (vgl. Case, 1992; Piaget, 1970).

Mit der Annahme von Entwicklungsstufen geht die Idee einher, dass Konzepte in ihrer reinen Form existieren und intern als autonome Entitäten repräsentiert sind. Ziel der Forschung aus dieser Perspektive ist, Begriffe in ihrer „reinen Form“ aufzudecken und ihre Abfolge im Verlauf der Entwicklung zu beschreiben. Beispiele dafür sind Piagets Untersuchungen zur Entwicklung des Konzepts „Raum“ (Piaget, 1975) oder des Konzepts der „Zahl“ (Piaget, 1965). Im Unterschied dazu betrachten Anderson und Wilkening (1991) Wissen von Kindern als eine Ansammlung von Merkmalen verschiedener Fähigkeiten, die bei der Lösung von Problemen zusammenwirken. Welche Wissensformen zum Lösungsversuch herangezogen werden, wird durch Charakteristika der Aufgabe bestimmt. Eine methodische Konsequenz aus der Theorie des adaptiven Denkens ist die Verwendung von Aufgabenstellungen unterschiedlicher Komplexität. Dies wurde u.a. im Bereich der intuitiven Physik, über Handlungs- und über Urteilsaufgaben realisiert.

Beispielsweise untersuchten Krist, Fieberg und Wilkening (1993) Wissen von Kindern und Erwachsenen über die Flugbahn horizontal geworfener Objekte mit einer Handlungs- und einer Urteilsaufgabe. Bei der Handlungsaufgabe wurde *intuitives Wissen* über die Flugbahn von Objekten adressiert. Die Versuchsteilnehmer rollten einen Ball von einer Tischplatte, die sich in drei verschiedenen Höhen über dem Boden befand. Der Ball sollte in einen Ring auf dem Boden geworfen werden. Der Ring wurde in drei unterschiedlichen Distanzen zum Ort des Abwurfs gelegt. Bei der Urteilsaufgabe wurde *explizites Wissen* über die Flugbahn von Objekten adressiert. Hierbei sollten die Versuchsteilnehmer die Abwurfgeschwindigkeiten auf einer Rating-Skala in Abhängigkeit von der Abwurfhöhe und der Distanz des Ziels zum Ort des Abwurfs einschätzen. In der Handlungsbedingung variierten Kinder (5-6 Jahre, 10 Jahre) und Erwachsene die Abwurfgeschwindigkeit angepasst an die jeweilige Abwurfhöhe und die jeweilige Distanz des Zielorts von der Abwurfplatte. Bei der Urteilsaufgabe hingegen berücksichtigten nur 10-jährige und Erwachsene die zwei Dimensionen für ihre Geschwindigkeitsurteile, während 5- und 6-jährige zumeist nur auf eine der zwei Dimensionen achteten.

Ein weiterer entwicklungspsychologischer Ansatz zur Beschreibung adaptiven Problemlösens ist die „overlapping-waves“ Theorie nach Siegler (1996). Eine Grundannahme dieser Theorie ist, dass Kinder zu einem Zeitpunkt über mehrere Strategien zur Lösung einer Aufgabe verfügen und diese prinzipiell anwenden können (Reder, 1982; Siegler, 1996). Voraussetzung für das Vorhandensein mehrerer Strategien zu einem Zeitpunkt ist, dass Kinder – beispielsweise in der Schule oder auch im Labor – schon Vorerfahrungen mit dem Lösen dieses Aufgabentyps machen konnten (Siegler, 1996).

Wie Anderson und Wilkening grenzt Siegler (Siegler, 1995, p. 410) die „overlapping-waves“ Theorie von dem traditionellen entwicklungspsychologischen Stufenmodell ab: „Rather than stepping up from Strategy 1 to Strategy 2 to Strategy 3, children would be expected to use several different strategies at any one time, with the frequency of use of each strategy ebbing and flowing with increasing age and expertise“. Zur Untersuchung der relativen Häufigkeit der Verwendung unterschiedlich geeigneter Strategien eignet sich die mikrogenetische Methode (Siegler & Crowley, 1991). Bei dieser Methode wird über einen längeren Zeitraum in kurzen Intervallen beobachtet, welche Strategien Kinder zur Lösung eines bestimmten Problemtyps verwenden. Inhaltsbereiche, in denen Siegler und Mitarbeiter die Variabilität und die adaptive Veränderung von Strategien aufzeigen konnten, sind Zählen, Arithmetik, Lesen, Buchstabieren und das Ablesen der Uhrzeit.

Siegler (1996) beschreibt verschiedene Formen der Adaptivität: Strategien können an *Charakteristika eines Problems* und sie können an *situationale Variablen* angepasst werden. Ein mögliches Charakteristikum von Problemen ist die Schwierigkeit von Aufgaben. Beispielsweise wählen Kinder bei leichten Additionsaufgaben die Strategie, eine Lösung zu erinnern, und sie wählen bei schweren Additionsaufgaben die Strategie, die Lösung zu berechnen. Beispiele für situationale Variablen sind unterschiedliche Anforderungen an kognitive Ressourcen, die Ausbalancierung von Geschwindigkeit und Genauigkeit beim Lösen von Aufgaben, sowie die Ausbalancierung von kurzfristigen und langfristigen Zielen. Werden Kinder beispielsweise bei einer Additionsaufgabe aufgefordert, exakte Lösungen zu finden, so werden sie eher rechnen und nicht versuchen, die Lösung zu erinnern. Werden Kinder hingegen aufgefordert, eine Lösung so schnell wie möglich zu nennen, so werden sie eher versuchen, diese zu erinnern, als sie aufwendig zu berechnen.

Vergleichbar zu den methodischen Vorgehensweisen von Anderson und Wilkening (1991) und von Siegler (1996) interessiert in der vorliegenden Arbeit, ob Kinder externe Repräsentationen bei *unterschiedlichen Aufgabenformaten* (z.B. Konstruktions- vs. Zuordnungsaufgabe) an die konzeptuelle Struktur von Problemen anpassen können. Im Unterschied zu Siegler wird der Umgang mit einer Aufgabe nur einmalig und nicht mehrmalig betrachtet. Zudem interessiert vergleichbar zu der Wasserumfüllaufgabe von Luchins und Luchins (1969), ob Kinder die räumliche Struktur externer Repräsentationen an die Struktur *verschiedener Probleme* (kategoriales und sequentielles Problem) *anpassen*.

#### **1.3.4 Zur Rolle von Metakognition und Planen beim Problemlösen**

Die Qualität der Anpassung externer Repräsentationen an die konzeptuelle Struktur von Problemen kann durch verschiedene Komponenten beeinflusst sein, welche in der Regel voneinander abhängen: durch Vorwissen, durch das Verstehen der Aufgabe, durch kognitive und situationale Einschränkungen und durch Kompetenzen im Bereich der Metakognition und des Planens. Zentrale Merkmale von Metakognition und Planen sowie mögliche Gründe dafür, weshalb Kinder häufig nicht planen, werden nachfolgend beschrieben.

*Metakognition.* Metakognition ist nach Flavell (1979; Flavell, Miller, & Miller, 1993) Wissen und Kognition über kognitive Phänomene (vgl. Rapp, 2004a). Innerhalb der Metakognition kann metakognitives Wissen von metakognitiver Überwachung und Selbstregulierung unterschieden werden. Metakognitives Wissen und Strategien der Überwachung sowie Selbstregulierung werden in der Regel bewusst eingesetzt, können jedoch durch Wiederholung automatisiert werden und somit unbewusst ablaufen. Der Begriff „metakognitiv“ wird jedoch zumeist mit bewusstem und reflektiertem Denken über Denken gleich gesetzt.

Flavell unterteilt *metakognitives Wissen* in drei Kategorien: Wissen über Personen, Aufgaben und Strategien.

Die *Personenkategorie* beinhaltet Wissen und Überzeugungen über Menschen als kognitive Verarbeiter. Beispielsweise haben ältere Kinder im Hinblick auf ihre Merkleistungen eine genauere und realistischere Kenntnis ihrer Stärken und Schwächen als jüngere Kinder (Flavell, Friedrichs, & Hoyt, 1970).

Die *Aufgabenkategorie* bezieht sich zum einen auf Wissen über die Art der in einer Aufgabe vorhandenen Informationen (z.B. Komplexität, Vertrautheit) und zum anderen auf Wissen über die Anforderungen einer Aufgabe (z.B. freies Erinnern oder Wiedererkennen).

Die *Strategiekategorie* beinhaltet Wissen über verschiedene Strategien und deren Angemessenheit für bestimmte Problemlagen sowie Wissen über den mutmaßlichen Erfolg einer bestimmten Maßnahme.

Mit *metakognitiver Überwachung und Selbstregulierung* sind Aktivitäten gemeint, die über den eigenen Fortschritt in einem kognitiven Prozess informieren. Metakognitive Überwachung und Selbstregulierung können metakognitive Erfahrungen beinhalten, die kognitiv und / oder affektiv sind (z.B. ein „Aha“-Erlebnis oder ein Gefühl der Unsicherheit).

Vergleichbar zu Flavell unterscheiden Davidson, Deuser und Sternberg (1994; Sternberg, 1998) verschiedene *metakognitive Schritte*, die beim Problemlösen beteiligt sein können: die Identifikation und Definition eines Problems, die Planung der Problemlösung, die Repräsentation von Informationen zu dem Problem, die Überwachung und die Evaluation des Problemlöseprozesses. Diese Schritte können in Abhängigkeit von Problem und Situation in unterschiedlicher Reihenfolge wie auch parallel durchlaufen werden. Besonders relevant für die vorliegende Arbeit sind die Schritte

- der internen und externen Repräsentation von Informationen zu einem Problem. Auf diesen Aspekt wurde in Kapitel 1.3.2 eingegangen.
- des Planens einer Problemlösung. Der Aspekt des Planens und mögliche Hindernisse für erfolgreiches Planen werden nachfolgend näher betrachtet.

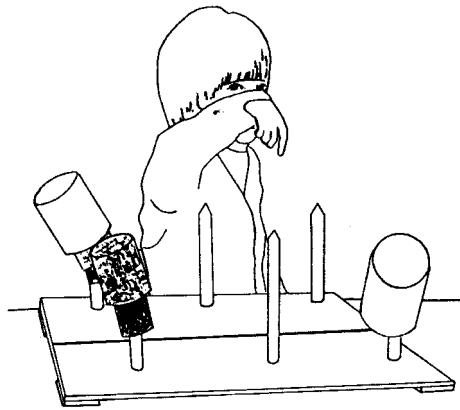
*Planen.* Planen beinhaltet nach Hayes-Roth und Hayes-Roth (1979) die aktive, bewusste Konstruktion oder mentale Simulation zukünftiger Handlungssequenzen mit dem Ziel der Handlungssteuerung und der Optimierung des Erreichens bestimmter Ergebnisse. Nach Mumford, Schultz und van Doorn (2001) kann Planen das Lösen von Problemen auf unterschiedliche Weise unterstützen: Durch die Organisation von Problemlöseaktivitäten in Chunks können Ressourcenanforderungen reduziert werden. Weiter können durch diese Organisation Informationen effizient gespeichert und erinnert werden. Planung kann die Identifikation und Beachtung

wesentlicher Informationen unterstützen, und Planen kann zur Entwicklung und Anwendung effizienter Suchstrategien führen.

Planen ist als „Probehandeln“ eine – prinzipiell – sinnvolle Tätigkeit, welche reversibel ist, keinen körperlichen Einsatz erfordert und spätere Handlungen vorbereitet. Dennoch wurde beobachtet, dass Kinder und Erwachsene oft unzureichend planen. Was sind mögliche Gründe für unzureichendes Planen beim Problemlösen?

Ellis und Siegler (1997) fassen verschiedene Gründe zusammen, weshalb Kinder (und Erwachsene) beim Problemlösen nicht oder nur unzureichend planen. Ausgewählte Gründe, die zum Teil auch bei der Entwicklung einer adäquaten Protokollierungsstrategie zur Lösung eines kategorialen und eines sequentiellen Problems relevant sein können, sind nachfolgend dargestellt:

(1) Ein Merkmal von Planen ist, dass es eine mögliche Zielerreichung verzögert. Kinder scheinen einer unmittelbaren Zielerreichung häufig einen höheren Wert zuzuschreiben als einer verzögerten Zielerreichung und verzichten daher auf Planung. (2) Planen erfordert die Unterdrückung von Handlungen. Beispielsweise sollten Kinder in einer Studie von Gauvain und Rogoff (1989) in dem Modell eines Kaufladens mit einem Einkaufswagen eine Liste von Gegenständen aus den Regalen holen. Kinder im Alter von 5 Jahren fokussierten ihre Suche häufig nur auf einen Gegenstand, dann auf den nächsten Gegenstand, usw. Kinder im Alter von 9 Jahren verfolgten die verschiedenen Ziele nicht getrennt, sondern verschafften sich beispielsweise zuerst einen Überblick über den Kaufladen, bevor sie die Gegenstände in den Wagen luden. (3) Planen kann den Problemlösenden vom Ziel der Problemlösung entfernen. Das Planen jüngerer Kinder dient in der Regel der Erreichung des zentralen Ziels. Ältere Kinder entwickeln Pläne, welche hierarchisch organisierte Subziele beinhalten und die den Problemlösenden zeitweise von dem Hauptziel entfernen können. Beispielsweise muss bei der Lösung des Turm von Hanoi Problems eine Scheibe, die sich bereits auf dem Zielstab befindet, von diesem wieder entfernt werden, so dass eine größere Scheibe auf diesen Stab gesteckt werden kann. Klahr und Robinson (1981) führten eine Studie mit einer vereinfachten Version des Turm von Hanoi Problems durch, bei der Kinder drei Dosen unterschiedlicher Größe verschieben sollten (siehe Abbildung 1.7).



*Abbildung 1.7.* Version des Turm von Hanoi Problems nach Klahr und Robinson (1981). Das Kind soll dem Versuchsleiter sagen, wie die Dosen vom Anfangszustand (auf Seite des Versuchsleiters) zum Zielzustand (auf Seite des Kinds) bewegt werden sollen (aus DeLoache et al., 1998, p. 828).

Diese Variante ist vergleichbar mit der in Kapitel 1.3.2 dargestellten Kaffee-Version des TvH Problems nach Zhang und Norman (1994). Kinder im Alter von 3 Jahren schienen darauf fixiert zu sein, die Dosen direkt auf den Zielstab zu schieben. Damit verletzen sie häufig eine Regel, indem sie eine kleinere Dose verschoben, auf der eine größere Dose steckte. Viele Kinder im Alter von 5 und 6 Jahren schienen Subziele zu entwickeln und konnten damit das Problem besser lösen als 3-jährige Kinder. (4) Kinder sind sehr optimistisch über die Wahrscheinlichkeit eines Erfolgs beim Problemlösen ohne vorherige Planung. Besonders Vorschulkinder scheinen häufig unrealistisch hohe Erwartungen über ihre zukünftigen Leistungen zu haben, so dass sie meinen, ohne Planen auskommen zu können. (5) Die Entwicklung eines Plans ist keine Garantie für eine erfolgreiche Problembearbeitung. Selbst wenn ein nützlicher Plan generiert wird, kann eine ungünstige Ausführung des Plans zu Misserfolgen führen. Dies zeigte sich beispielsweise in einer mikrogenetischen Studie von Schauble (1990), bei der Kinder der Klassenstufen 5 und 6 Experimente entwickelten, mit denen sie in einer computerisierten Mikrowelt etwas über den Einfluss verschiedener Merkmale von Rennautos auf ihre Geschwindigkeit herausfinden sollten. Die Kinder entwickelten verschiedene Pläne, um die einzelnen Effekte von einem oder von mehreren Merkmalen sowie Interaktionen zwischen den Merkmalen zu überprüfen. Obwohl mehr als 80% der Pläne bei einer korrekten Ausführung zu den gewünschten Informationen geführt hätten, wurden nur 30% der Pläne so ausgeführt, dass die gewünschte Information tatsächlich erhalten wurde.

Ob und in welchem Ausmaß Kinder planen, kann neben den von Ellis und Siegler (1997) aufgeführten Gründen durch Faktoren wie der Vertrautheit mit einem Problem und der Komplexität des zu lösenden Problems beeinflusst sein (DeLoache et al., 1998; Friedman & Scholnick, 1997). Kinder im Grundschulalter sind mit den in der vorliegenden Arbeit verwendeten kategorialen und sequentiellen Problemen sowie mit der Repräsentation von Informationen über kategoriale und sequentielle Datenprotokolle voraussichtlich nicht vertraut. Aus diesem Grund sollen Kinder in den vorliegenden Studien für die Erstellung von Datenprotokollen Gelegenheit zum Planen erhalten (vgl. dazu die Ausführungen in Kap. 1.5).



## **1.4 Konstruktion und Nutzung externer Repräsentationen aus entwicklungspsychologischer Perspektive**

### **1.4.1 Ein Modell zur Entwicklung des Verstehens externer Repräsentationen bei Kindern**

Ein Modell zur Entwicklung des Verstehens externer Repräsentationen, das nicht Schrift oder mathematische Symbole zum Inhalt hat, konnte nur bei Liben (1999, 2003) gefunden werden. Liben beschreibt die Entwicklung des Verstehens externer Repräsentationen in sechs Stufen. Sie betont jedoch, dass die Stufen nicht chronologisch durchlaufen werden müssen. Für die vorliegende Arbeit besonders relevant sind die fünfte und sechste Stufe des Modells, das „Verstehen von Beziehungen“ und die „Meta-Repräsentation“. Die sechs Stufen der Entwicklung des Verstehens externer Repräsentationen nach Liben sind nachfolgend dargestellt:

*1. Die Entnahme referentiellen Inhalts aus externen Repräsentationen.* Eine wichtige Voraussetzung für die Nutzung externer Repräsentationen zur Darstellung von Informationen ist die Wahrnehmung räumlicher Informationen in der physikalischen Welt. Nach E.J. Gibson (1987) und Spelke (1991) nehmen Kinder schon kurz nach der Geburt über den visuellen Kanal Informationen über Raum wahr. Etwas später erkennen Kinder mit ca. 5 Monaten Objekte in zweidimensionalen Darstellungen (DeLoache, Strauss, & Maynard, 1979; Dirks & Gibson, 1977) und reagieren auf Tiefeninformationen in Bildern mit etwa 5 bis 7 Monaten (Yonas, Arterberry, & Granrud, 1987). Auf dieser Stufe scheinen Kinder zwischen Repräsentation und Referent noch nicht zu unterscheiden.

In den drei nachfolgenden Stufen 2 bis 4 steht das Verstehen der doppelten Bedeutung externer Repräsentationen im Vordergrund, die als „dual representation“ bzw. als „dual nature of symbols“ bezeichnet wird (DeLoache, 1987, 2000, 2002; DeLoache & Burns, 1993; DeLoache, Miller, & Rosengren, 1997). Mit der doppelten Bedeutung einer Repräsentation ist gemeint, dass eine Repräsentation zum einen als Objekt für sich gesehen werden kann und zum anderen als ein Symbol, das einen Inhalt repräsentiert. In Abhängigkeit von der zu lösenden Aufgabe haben selbst ältere Vorschulkinder Schwierigkeiten mit dem Verstehen der doppelten Bedeutung einer Repräsentation (Zelazo, Sommerville, & Nichols, 1999).

2. *Globale Differenzierung.* Diese Stufe wird nach Liben von Vorschulkindern erreicht. Zwar unterscheiden Kinder zwischen Repräsentation und Referent, doch scheinen sie die Bezeichnungsfunktion der externen Repräsentation nicht gänzlich zu verstehen und behandeln Repräsentation und Referent verschieden. Beispielsweise kategorisierten 3-jährige dreidimensionale Objekte anders als zweidimensionale Zeichnungen derselben Objekte (Deák & Bauer, 1995).

3. *Repräsentationale Einsicht.* Auf dieser Stufe werden Repräsentation und Referent voneinander unterschieden und einer Repräsentation wird eine Bezeichnungsfunktion zugewiesen. Zunächst zeigt sich die repräsentationale Einsicht für Objekte, welche typischerweise als Repräsentationen dienen (z.B. Photos) und später für Objekte, welche normalerweise nicht als Repräsentationen verwendet werden (z.B. skalierte Modelle). Repräsentationale Einsicht zeigt sich nach DeLoache (1989; 1995) mit etwa 3 Jahren.

4. *Differenzierung von Merkmalen.* Jüngere Grundschulkinder erkennen, dass nicht alle Merkmale einer Repräsentation den Merkmalen des Referenten entsprechen und dass einige, aber nicht alle Merkmale des Referenten grafischen Merkmalen der Repräsentation entsprechen. Bis zu solch einem Verstehen erwarten Kinder beispielsweise, dass Merkmale der Repräsentation Merkmale des Referenten abbilden (wie beispielsweise dass eine rote Linie auf einer Landkarte eine rote Strasse bedeutet) und dass Merkmale des Referenten durch Merkmale der Repräsentation dargestellt werden (wie beispielsweise die Erwartung, dass ein großes Gebäude auf einer Stadtkarte gleich groß erscheint). Ein Beispiel für die Vermischung von Merkmalen der Repräsentation mit denen des Referenten lässt sich anhand einer Studie von Beilin und Pearlman (1991) illustrieren: Viele 3-jährige Kinder gaben an, dass man eine Rassel höre, wenn man das Photo, auf dem die Rassel abgebildet ist, schüttelt.

5. *Verstehen von Beziehungen.* Ältere Schulkinder verstehen informale und formale Regeln, nach denen einige Merkmale von Repräsentation und Referent identisch sind und andere nicht. Beispielsweise lernt ein Kind, dass auf Landkarten die Farben arbiträr sind, nicht aber die Darstellung von Größenverhältnissen. Zudem wird die referentielle Bedeutung von grafischem Raum verstanden. Während das

Verstehen von Beziehungen mediumsspezifisch ist, verstehen Kinder auf der Stufe der Meta-Repräsentation Variationen innerhalb und zwischen verschiedenen Medien.

6. *Meta-Repräsentation*. Auf dieser Stufe erkennen Personen (Jugendliche), dass *die Darstellung verschiedener Ziele unterschiedliche Repräsentationsformen erfordert*. Weiter verstehen Personen auf dieser Stufe,

- wie verschiedene Beziehungsregeln und -systeme verschiedene Mittel zur Kommunikation von Sichtweisen ermöglichen.
- dass in verschiedenen Traditionen verschiedene Beziehungsregeln und Konventionen bei verschiedenen Medien verwendet werden.
- dass Repräsentationen als kognitive Werkzeuge verwendet werden, die das eigene Verstehen und das Verstehen anderer Personen bereichern können.

Vergleichbar zu Libens Beschreibung von Meta-Repräsentation definieren diSessa und Sherin (2000) „meta-repräsentationale Kompetenz“ als Fähigkeiten und Fertigkeiten, die Personen hinsichtlich *der Konstruktion und der Nutzung externer Repräsentationen* („construction and use of external representations“, p. 386) haben. Meta-repräsentationale Kompetenz beinhaltet Fähigkeiten, Repräsentationen auszuwählen, zu erstellen und zu nutzen sowie Fähigkeiten, Repräsentationen kritisch zu bewerten, zu modifizieren und neuartige Repräsentationsformen zu entwickeln. Für die vorliegende Arbeit sind folgende Merkmale der Meta-Repräsentation relevant (siehe Kap. 1.1): *Das Verstehens der relativen Eignung externer Repräsentationen zur Darstellung verschiedener Inhalte bei der Konstruktion und bei der Nutzung externer Repräsentationen*.

#### 1.4.2 Kategorien zur Einordnung von Studien zur Konstruktion und Nutzung externer Repräsentationen bei Kindern

Entwicklungspsychologische Studien zur Konstruktion und Nutzung externer Repräsentationen können verschiedenen Kategorien zugeordnet werden. Ausgewählte Kategorien sind nachfolgend beschrieben. Innerhalb jeder Kategorie wird ein Bezug zur vorliegenden Arbeit hergestellt.

(a) Die *Art der externen Repräsentation* wie beispielsweise Zeichnungen (z.B. Karmiloff-Smith, 1992), dreidimensionale Modelle (z.B. DeLoache, 2000) und Grafen (z.B. Bryant & Somerville, 1986).

In den vorliegenden Studien wird das Verstehen von grafenähnlichen kategorialen und sequentiellen Datenprotokollen untersucht.

(b) Die *Art der Aufgaben*, die Kindern gestellt werden und damit zusammenhängend die *Funktion* der in Studien verwendeten externen Repräsentationen. Beispielsweise adressieren viele Studien das grundlegende Verstehen der Beziehung zwischen symbolischen Notationen und ihren Referenten (z.B. Cohen, 1985; DeLoache & Burns, 1993; Liben & Downs, 1992; O'Sullivan, Mitchell, & Daehler, 2001).

Spezifischere Funktionsbereiche externer Repräsentationen sind die Konstruktion und Nutzung externer Repräsentationen als Gedächtnishilfen (z.B. Eskritt & Lee, 2002; Fletcher & Bray, 1996, 1997; Rapp, 1999; Ritter, 1978) oder als Kommunikationsmittel (z.B. Callaghan, 1999; Lee & Karmiloff-Smith, 1996a; Lee & Karmiloff-Smith, 1996b; Lee, Karmiloff-Smith, Cameron, & Dodsworth, 1998).

Wie in der Einleitung (Kap. 1.1) angesprochen, soll mit den vorliegenden Studien das Verstehen der relativen Eignung unterschiedlicher externer Repräsentationsformen zur Darstellung unterschiedlicher Inhalte bzw. Ereignisse untersucht werden.

(c) Der *Abstraktions- und Komplexitätsgrad* einer externen Repräsentationsform zur Darstellung eines bestimmten Inhalts. Beispielsweise unterscheidet Tversky (2001) in Anlehnung an Stevens (1946) zwischen der Anordnung von Elementen im Raum korrespondierend zu den vier Skalentypen Nominalskalenniveau, Ordinalskalenniveau, Intervallskalenniveau und Verhältnisskalenniveau. Tversky, Kugel-

mass und Winter (1991) fanden, dass Kinder mit zunehmendem Alter häufiger abstraktere Inhalte in einer externen Repräsentation abbilden können. Das heißt, Kinder können nominale Inhalte früher darstellen als ordinale Inhalte, und sie können ordinale Inhalte früher darstellen als Inhalte auf Intervallskalenniveau.

Bei den in den vorliegenden Studien verwendeten Datenprotokollen scheint das sequentielle Datenprotokoll etwas komplexer zu sein als das kategoriale Datenprotokoll: in einem sequentiellen Datenprotokoll sind mehr Informationen enthalten als in einem kategorialen Datenprotokoll (siehe Kap. 1.2.3). Möglicherweise fällt Kindern daher das Erstellen eines kategorialen Datenprotokolls leichter als das Erstellen eines sequentiellen Datenprotokolls.

(d) Die Rolle von möglichen *Hilfen und Einschränkungen in der Umwelt* (situationale Einschränkungen) für das Lösen von Problemen. Wie in Kapitel 1.3.2 dargestellt, können situationale Einschränkungen wie die Betrachtung eines Beispiels oder die Einschränkung von Problemlösematerialien das Problemlöseverhalten positiv beeinflussen.

In der vorliegenden Arbeit sollen die Vorgabe eines Problemlösebeispiels und unterschiedliche Formen der Einschränkung von Problemlösematerialien berücksichtigt werden.

(e) Die *Nutzung und / oder die Konstruktion* externer Repräsentationen für das Lösen von Aufgaben. In entwicklungspsychologischen Studien wurde bisher vor allem der Aspekt der Nutzung externer Repräsentationen adressiert, kaum jedoch der Aspekt der Konstruktion externer Repräsentationen. Die Untersuchung der Konstruktion externer Repräsentationen ist nach Lee und Karmiloff-Smith (1996b, p. 206) „...of particular theoretical importance because it may reveal constraints not apparent in comprehension studies.”

Cohen (1985) und Greene (1989) führten Studien durch, bei denen die *Nutzung und die Konstruktion* externer Repräsentationen bei Kindern unterschiedlichen Alters untersucht wurde. Bei beiden Studien fällt Kindern die Nutzung vorgegebener externer Repräsentationen zur Lösung von Aufgaben leichter als die Konstruktion externer Repräsentationen. In beiden Fällen könnte dieses Ergebnis mit einer unterschiedlichen Einschränkung des externen Problemraums bei der Konstruktions- und

der Nutzungsaufgabe erklärt werden (siehe Kap. 1.3.2). Während der externe Problemraum bei der Nutzungsaufgabe eingeschränkt ist, ist er bei der Konstruktionsaufgabe offen.

Cohen (1985) untersuchte das Verstehen der Beziehung von Symbol und Referent über musikalische Notationen. In der Studie interessierte u.a., ob Kinder für verschiedene Töne eindeutige Notationen erstellen können. Mit einer eindeutigen Repräsentation ist gemeint, dass jedes Symbol nur eine Merkmalsklasse repräsentiert und jeder Merkmalsklasse nur ein Symbol zugeordnet ist. In Studie 1, an der Kinder zwischen 6 und 11 Jahren teilnahmen, wurde Kindern eine Tonfolge mit vier Perkussionsinstrumenten vorgespielt. Beim zweiten Vorspiel der Tonfolge sollten Kinder die einzelnen Töne mit Farbstiften auf Papier festhalten. Anschließend spielten die Versuchsleiterin und das Kind die notierte Melodie gemeinsam. Dieses Vorgehen wurde mit drei weiteren Tonfolgen wiederholt. Die meisten Kinder ab 8 Jahren erstellten Notationen, bei denen die Beziehung zwischen Symbol und Referent eindeutig war. Kinder im Alter von 6 und 7 Jahren verletzten sowohl bei dem Erstellen der Notationen als auch beim Spielen von Melodien mit den selbst erstellten Notationen häufig die Regel der eindeutigen Zuordnung. In Studie 2 sollten Kinder daher die Qualität von *vorgelegten* Notationen bewerten. Kindern zwischen 4 und 7 Jahren wurden zunächst zwei Symbole präsentiert, zu denen jeweils der passende Ton gespielt wurde. Anschließend wurde der dritte Ton gespielt und zwei mögliche Symbole zur Darstellung dieses Tons wurden präsentiert. Die Kinder sollten das geeignetere der zwei Symbole auswählen mit dem Ziel, dass ein anderes Kind die Tonfolge später korrekt spielen kann. Im Unterschied zu Studie 1 beachteten zumindest 7-jährige bei der Zuordnungsaufgabe in hohem Maße das Prinzip der eindeutigen Zuordnung von Symbol und Referent.

Greene (1989) untersuchte die Rolle von externen Repräsentationen für das Verstehen hierarchischer Relationen bei der Klasseninklusion. In Studie 1 bekamen Kinder im Alter von 8, 10 und 12 Jahren drei Texte vorgelegt, in denen Merkmale von außerirdischen Kreaturen beschrieben waren. Die in jedem Text enthaltenen Informationen konnten in einem vierstufigen Baumdiagramm dargestellt werden. Nach dem Lesen des ersten Texts sollten die Kinder Informationen aus dem Text mit Schrift oder über Zeichnungen festhalten, so dass sie Fragen zu dem Text beantworten können. Die Kinder wussten, dass sie zur Beantwortung der Fragen nur ihre

Notationen verwenden durften. Nach Lesen der zweiten und der dritten Textpassage wurde den Kindern jeweils ein vorgefertigtes Baumdiagramm zu der Textpassage vorgelegt. Die korrespondierenden Elemente zwischen Text und Diagramm wurden erklärt. Anschließend wurde der Text entfernt, und die Kinder beantworteten Fragen mit Hilfe des vorgelegten Diagramms. Beantworteten Kinder die Fragen mit vorgegebenen Diagrammen, so zeigte sich bei allen Altersgruppen ein Deckeneffekt. Hingegen beantworteten die 12-jährigen mit den selbst erstellten Diagrammen signifikant mehr Fragen korrekt als die 8-jährigen.

Vergleichbar zu den Studien von Cohen (1985) und Greene (1989) *soll im Rahmen der vorliegenden Arbeit untersucht werden, wie Kinder unterschiedlichen Alters vorgegebene externe Repräsentationen zum Lösen von Problemen nutzen und wie sie externe Repräsentationen zur Lösung von Problemen konstruieren*. Ähnlich zu der Studie von Greene (1989) *soll jedes Kind in den vorliegenden Studien sowohl externe Repräsentationen nutzen als auch externe Repräsentationen konstruieren*.

*Zusammenfassend* sind für die vorliegenden Studien folgende Aspekte der verschiedenen Kategorien von Bedeutung:

In den vorliegenden Studie soll das Verstehen der grafenähnlichen Repräsentationsformen des kategorialen und des sequentiellen Datenprotokolls untersucht werden (*Art der Repräsentation*). Es interessiert dabei, ob Kinder die relative Eignung der Datenprotokolle zur Darstellung unterschiedlicher Inhalte verstehen (*Art der Aufgaben und Funktion der externen Repräsentationen*). Das Verstehen der relativen Eignung externer Repräsentationsformen zur Darstellung unterschiedlicher Inhalte soll mit unterschiedlichen Aufgabenformaten untersucht werden: (a) Aufgaben, bei denen externe Repräsentationen zur Lösung verschiedener Probleme konstruiert werden sollen und (b) Aufgaben, bei denen vorgegebene externe Repräsentationen dem Problem zugeordnet werden sollen, welches damit am besten gelöst werden kann (*Konstruktion und Nutzung*). Aufgrund der Asymmetrie im Informationsgehalt zwischen beiden Datenprotokollen fällt es Kindern möglicherweise leichter, ein kategoriales als ein sequentielles Datenprotokoll zu erstellen (*Abstraktions- und Komplexitätsgrad*). Weiter soll in den Studien die Rolle von externen Hilfen oder Einschränkungen bei dem Erstellen externer Repräsentationen zur Lösung verschiedener Probleme berücksichtigt werden (*Hilfen und Einschränkungen in der Umwelt*).

### 1.4.3 Zum Verstehen kategorialer und sequentieller Informationen bei Kindern

Die grundlegende Unterscheidung des kategorialen und des sequentiellen Aspekts von Informationen ist nicht nur für unseren Alltag von Bedeutung, sondern sie lässt sich auch innerhalb der Psychologie in verschiedenen Bereichen finden. Beispiele dafür sind die Unterscheidung zwischen Quer- und Längsschnittbetrachtung, zwischen Nominalskalenniveau und Ordinal- bzw. Intervallskalenniveau nach Stevens (1946) oder zwischen semantischem und episodischem Langzeitgedächtnis nach Tulving (2002).

Für die Verwendung von kategorialen und sequentiellen Problemstrukturen in den vorliegenden Studien spricht, dass Kinder verschiedene kategoriale und sequentielle Aspekte von Informationen schon früh in ihrer Entwicklung verstehen und sie für die Strukturierung ihrer Umwelt nutzen. Allerdings werden beide Aspekte häufig nicht klar voneinander unterschieden.

Die Bedeutung des kategorialen und des sequentiellen Aspekts von Informationen im Alltag von Kindern kann am Beispiel der Einschätzung eigener Leistungen illustriert werden: Der Vergleich von eigenen Leistungen zwischen verschiedenen Schulfächern wie Mathematik, Deutsch und Sport entspricht dem kategorialen Aspekt. Die Veränderung von Leistungen innerhalb von verschiedenen Bereichen über die Zeit hinweg, etwa beim Weitsprung oder beim Rechnen, entspricht dem sequentiellen Aspekt. Auch im sozialen Bereich lassen sich verschiedene Informationen den zwei Aspekten zuordnen. Beispielsweise könnte ein Kind verschiedene Personen in die Kategorien „Verwandte“, „Freunde“ und „Fremde“ gruppieren. Der sequentielle Aspekt zeigt sich beispielsweise in sozialen Diensten und Verpflichtungen, die über die Zeit hinweg verrechnet werden.

In verschiedenen Studien wurde gezeigt, dass schon junge Kinder für kategoriale und für sequentielle Informationen in ihrer Umwelt sensibel sind.

Bereits mit 18 Monaten können Kinder unterschiedliche Objekte *kategorisieren*, indem sie Objekte nach Kategorien geordnet räumlich gruppieren (z.B. Gopnik & Meltzoff, 1987, 1992; Namy, Smith, & Gershkoff Stowe, 1997; Sugarman, 1982). Eine wichtige Voraussetzung für eine räumliche Klassifizierung von Objekten ist ein kategoriales Wissen (z.B. Mandler, Fivush, & Reznick, 1987; Rosch, 1976).



*Sequentielle* Informationen sind beispielsweise bei Handlungs- und Ereignissequenzen von Bedeutung. Viele geordnete Handlungsabläufe lassen sich als Skripte oder Schemata beschreiben. Schank und Abelson (1988) definieren Skripte als kohärente Rahmenvorstellungen über zeitliche Abfolgen von Ereignissen oder Handlungen, die nach der Alltagserfahrung für bestimmte Situationen charakteristisch sind (z.B. Restaurantbesuch). Schon sehr junge Kinder scheinen Handlungsschemata zu bilden und Skriptwissen anwenden zu können. Beispielsweise führten Bauer und Shore (1987) Kindern zwischen 17 und 23 Monaten das Baden eines Teddybären vor, das aus mehreren Schritten bestand. Sowohl unmittelbar nach Beobachten der Modellhandlung als auch sechs Wochen danach konnten Kinder die einzelnen Schritte des gesamten Handlungsablaufs weitgehend korrekt nachvollziehen. Selbst bei einer weniger vertrauten Handlungssequenz, dem Bau einer Rassel, konnten Kinder die Modellhandlung sowohl unmittelbar nach ihrer Präsentation als auch einige Zeit später häufig in der korrekten Reihenfolge erinnern und reproduzieren.

*Können Kinder kategoriale und sequentielle Informationen über externe Repräsentationen darstellen?* Tversky, Kugelmass und Winter (1991) interessierten sich in ihrer Studie u.a. dafür, wie Kinder graphische Repräsentationen von temporalen und von quantitativen Relationen erstellen. Kinder sollten die Relationen über drei Klebepunkte darstellen. Beispielsweise klebte die Versuchsleiterin bei dem temporalen Konzept der „Tagesmahlzeiten“ einen Klebepunkt in die Mitte eines quadratischen Papiers, der das Mittagessen darstellen sollte. Die Kinder wurden aufgefordert, mit den zwei anderen Klebepunkten das Frühstück und das Abendessen darzustellen. Ein quantitatives Konzept, welches Kinder darstellen sollten, war die Menge an Sand in einem Löffel, in einer Tasse und in einem Lastwagen. Auch hier klebte die Versuchsleiterin einen Klebepunkt in die Mitte eines quadratischen Papiers, um damit die in der Tasse enthaltene Sandmenge darzustellen. Die Kinder sollten die zwei anderen Quantitäten mit den weiteren Klebepunkten darstellen.

An der Studie nahmen Kinder zwischen 5 und 11 Jahren sowie Erwachsene aus unterschiedlichen Kulturkreisen (USA, Israel) teil. Kinder stellten temporale Konzepte zumeist auf einer horizontalen Ebene dar. Dabei stellten englisch sprechende Kinder die temporale Abfolge häufig von links nach rechts dar, hebräisch und arabisch sprechende Kinder stellten die Abfolge häufiger von rechts nach links dar. Tversky und Mitarbeiter interpretieren diesen Richtungseffekt über die in der

jeweiligen Kultur übliche Lese- und Schreibrichtung. Bei quantitativen Konzepten wurde die vertikale Anordnung von oben (kleinste Quantität) nach unten (größte Quantität) selten verwendet. Kinder verwendeten die drei anderen Anordnungen auf horizontaler Ebene (rechts kleinste und links größte Quantität; links kleinste und rechts größte Quantität) und auf vertikaler Ebene (unten kleinste und oben größte Quantität) zur Darstellung quantitativer Konzepte etwa gleich häufig. Erwachsene wählten zur Darstellung quantitativer Konzepte vergleichbar zu einem Balkendiagramm am häufigsten die vertikale Richtung von unten (kleinste Quantität) nach oben (größte Quantität).

In einer Studie von Lee et al. (1998) sollten Kinder im Alter von 9 und 11 Jahren für eine andere Person die Schritte einer Problemlösung mit Stiften auf Papier notieren. Das Problem war das in Abbildung 1.8 dargestellte Puzzle, bei dem die Puzzleteile innerhalb eines Rahmens so verschoben werden sollten, dass ein bestimmtes Puzzleteil (der Hase) durch die einzige Öffnung des Rahmens geschoben werden konnte.

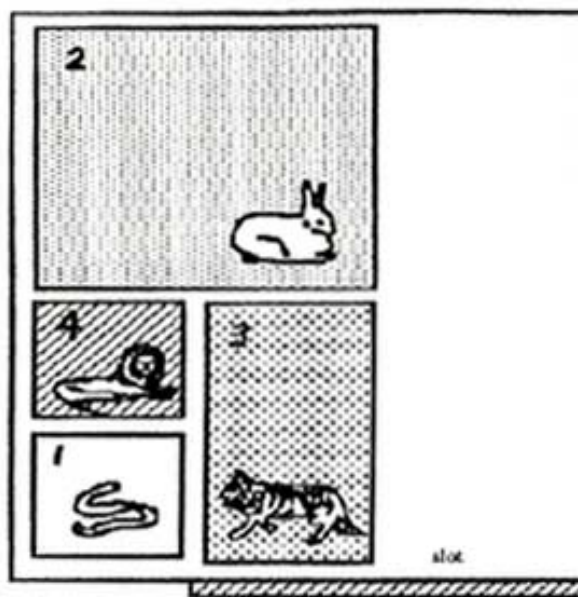


Abbildung 1.8. Puzzlespiel, bei dem das Puzzleteil mit dem Hasen durch Verschieben aller Puzzleteile durch die Öffnung (slot) des Puzzlerahmens gebracht werden soll (aus Lee et al., 1998, p.162).

Kinder im Alter von 9 Jahren hielten in ihren Notationen kaum Informationen zur Abfolge des Verschiebens der einzelnen Puzzleteile fest. Das heißt, Kindern diesen Alters scheint es – zumindest bei dieser Untersuchung – schwer zu fallen, sequentielle Informationen in Notationen festzuhalten.

Bei der einfachen Aufgabenstellung in der Studie von Tversky, Kugelmass und Winter (1991) gelang es bereits Vorschulkindern, kategoriale und sequentielle Informationen über externe Repräsentationen darzustellen. Bei dieser Studie wurde *eine* Quantität sowie *ein* zeitliches Ereignis jeweils über ein Symbol (Klebepunkt) dargestellt.

Hingegen sollen Kinder in den vorliegenden Studien aus der Notation *vieler* beobachteter Einzelereignisse relative Häufigkeitsunterschiede zwischen Kategorien sowie eine temporale Abfolge verschiedener Ereignisse darstellen. Diese Aufgabenstellung scheint anspruchsvoller zu sein als die bei Tversky, Kugelmass und Winter (1991).

Kindern scheint es nach den Ergebnissen von Lee et al. (1998) schwer zu fallen, sequentielle Anordnungen von Ereignissen zu notieren. Allerdings wurden Kinder bei dieser Studie nicht explizit zur Darstellung einer temporalen Abfolge aufgefordert.

In den im folgenden beschriebenen Studien sollen Kinder bei dem sequentiellen Problem auf die Bedeutung der zeitlichen Abfolge von Ereignissen hingewiesen werden. Daher ist zu erwarten, dass auch jüngere Grundschulkinder in der Lage sind, sequentielle Abfolgen korrekt darzustellen.

## 1.5 Fragestellungen und Vorüberlegungen zur Durchführung der Studien

Nachfolgend sind übergreifende Fragestellungen aufgeführt, denen im Rahmen von vier Studien nachgegangen wird. Spezifische, zum Teil zusätzliche Fragestellungen sind einleitend zu jeder der vier Studien dargestellt. In diesem Kapitel werden allgemeine Vorüberlegungen zur Durchführung der Studien beschrieben, die im Methodenteil der vier Studien spezifiziert werden.

- (1) Erstellen Kinder Anordnungen von Chips, die als kategoriales oder als sequentielles Datenprotokoll klassifiziert werden können? (Studien 1, 2, 3, 4)
- (2) Gelingt es Kindern unterschiedlichen Alters, die räumliche Struktur einer externen Repräsentation an die konzeptuelle Struktur eines kategorialen und eines sequentiellen Problems anzupassen? (*Konstruktionsaufgabe*). (Studien 1, 2, 3, 4)
- (3) Gelingt es Kindern unterschiedlichen Alters, vorgegebene kategoriale und sequentielle Datenprotokolle korrekt dem jeweiligen Problem zuzuordnen, das damit optimal gelöst werden kann? (*Zuordnungsaufgabe*). (Studien 1, 4)
- (4) Lösen Kinder die Zuordnungsaufgabe häufiger als die Konstruktionsaufgabe? (Studien 1, 4)
- (5) Wie berücksichtigen und nutzen Kinder unterschiedlichen Alters
  - (a) die Vorgabe von Lösungsbeispielen (Studie 2) und
  - (b) unterschiedliche Einschränkungen der Problemlösematerialien (Studie 3)für die Konstruktion externer Repräsentationen zur Lösung von Problemen (vgl. Kap. 1.3.2)?

*Zur Konstruktion externer Repräsentationen.* In den vorliegenden Studien (außer Studie 2) soll jedes Kind ein kategoriales *und* ein sequentielles Problem mit Hilfe externer Repräsentationen lösen. Die Abfolge der Bearbeitung von kategorialem und sequentielltem Problem ist über Alter und Geschlecht ausbalanciert. Bei jedem Problem sollen Kinder mehrere aufeinanderfolgende Ereignisse beobachten und korrespondierend zu jedem Ereignis einen farbigen Holzchip legen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden nur drei mögliche Ereigniskategorien verwendet. Jeder Ereigniskategorie ist – zumindest bei den Studien 1 bis 3 – eine Farbe der Holzchips (rot, gelb oder blau) zugeordnet. Alternativ wäre es möglich gewesen, die beobach-

teten Ereignisse mit Farbstiften auf Papier festhalten zu lassen. Dann hätten Kinder jedoch zusätzlich zu der Anordnung von Symbolen die Aufgabe, eindeutige Symbole zu konstruieren. Gegen das Erstellen von Symbolen spricht, dass Kindern eine eindeutige Zuordnung von Symbol zu Referent bei der Konstruktion von Symbolen erst ab etwa 8 Jahren zu gelingen scheint (Cohen, 1985). Für eine Verwendung von Chips spricht weiterhin, dass diese im Unterschied zu Klebepunkten oder zu schriftlichen Notationen während des Protokollierens flexibel verschoben werden können. Somit ist auch im Verlauf des Protokollierens eine flexible Anpassung der räumlichen Struktur der Chips an die konzeptuelle Struktur eines Problems möglich.

Die Kinder sollen die Holzchips so anordnen, dass sie das jeweilige Problem optimal lösen können:

- Bei dem *kategorialen Problem* sollen die Kinder die Chips so anordnen, dass sie zu einem bestimmten Zeitpunkt die relativen Häufigkeitsunterschiede von Ereignissen zwischen den Kategorien ablesen können.
- Bei dem *sequentiellen Problem* sollen die Kinder die Chips so anordnen, dass sie zu einem bestimmten Zeitpunkt eine Regel aus der Abfolge von Ereignissen verschiedener Kategorien entnehmen können.

Wie in Kapitel 1.2.3 dargestellt, kann eine kategoriale Fragestellung sowohl mit einem kategorialen als auch mit einem sequentiellen Datenprotokoll beantwortet werden. Wenn relative Häufigkeiten jedoch *ökonomisch und schnell* aus einem Protokoll entnommen werden sollen, ist die geeignete Repräsentationsform zur Lösung eines kategorialen Problems ein kategoriales und nicht ein sequentielles Datenprotokoll.

Eine ökonomische und schnelle Entnahme von Informationen aus einem Datenprotokoll soll Kindern (a) über die Instruktion und (b) durch ein schnell auszuführendes Handlungsurteil nahe gelegt werden. Die Kinder werden aufgefordert, die Chips so anzuordnen, dass sie „*gut und schnell*“ („easily and quickly“ nach Larkin und Simon, 1987) sehen können, von welcher Kategorie am wenigsten Elemente vorhanden sind (kategoriales Problem) bzw. nach welcher Regel die Ereignisse nacheinander auftreten (sequentielles Problem). Zudem sollen die Kinder auf Grundlage der angeordneten Chips schnell ein Urteil fällen und eine Handlung ausführen. Dieses Handlungsurteil wird in Studie 1 im Rahmen des Versuchsablaufs beschrieben. Wichtig dabei ist, den Kindern zu verdeutlichen, dass nur die Informa-

tionsentnahme aus dem Protokoll „gut und schnell“ erfolgen soll. Für das Legen und für die Anordnung von Chips erhalten die Kinder ausreichend Zeit.

*Zum Probelegen von Chips.* Vor der Beobachtung und Protokollierung von Ereignissen bekommen die Kinder (außer in Studie 2) bei beiden Problemen die Gelegenheit, eine möglichst optimale Anordnung von Chips zur Lösung des spezifischen Problems zu finden. Die Kinder werden aufgefordert, eine vorgegebene Anzahl an Chips so anzuordnen, dass sie eine kategoriale bzw. eine sequentielle Lösung aus der Anordnung „gut und schnell“ entnehmen könnten. Damit sollen planerische Anforderungen für das Problemlösen möglichst reduziert werden (siehe Kap. 1.3.4).

*Zur Zuordnung vorgegebener externer Repräsentationen zu Problemen, die damit optimal gelöst werden können.* Nach Bearbeitung der Konstruktionsaufgabe wird den Kindern (in Studien 1 und 4) ein kategoriales und ein sequentielles Datenprotokoll vorgelegt. Die Kinder sollen die Datenprotokolle den zwei in der Konstruktionsaufgabe beschriebenen kategorialen und sequentiellen Problemen zuordnen.

*Welche Altersgruppen sollen für die vorliegenden Studien berücksichtigt werden?* Als Orientierung zur Eingrenzung der Altersgruppen dienen die oben beschriebenen Studien von Cohen (1985) und von Greene (1989), bei denen der Unterschied zwischen der Konstruktion externer Repräsentationen und der Auswahl geeigneter externer Repräsentationen bzw. der Interpretation vorgegebener Repräsentationen untersucht wurde. Eine weitere Referenzstudie zur Eingrenzung des Alters in den vorliegenden Studien ist die Untersuchung von Tversky, Kugelmass und Winter (1991). Bei dieser Studie wurde u.a. die Fähigkeit von Kindern untersucht, quantitative und temporale Relationen darzustellen.

An den vorliegenden Studien sollen daher Kinder im späten Kindergartenalter (4;6 - 6 Jahre) sowie im Grundschulalter (7 - 12 Jahre) teilnehmen.

## 2 Studien

### 2.1 Studie 1. Konstruktion und Nutzung externer Repräsentationen zur Lösung kategorialer und sequentieller Probleme

In Studie 1 wurde folgenden Fragestellungen nachgegangen:

- (1) Erstellen Kinder externe Repräsentationen, die als kategoriales oder als sequentielles Datenprotokoll klassifiziert werden können?
- (2) Passen Kinder unterschiedlichen Alters die Anordnung von Chips an die Struktur eines kategorialen und eines sequentiellen Problems so an, dass sie beide Probleme effizient und schnell lösen können (Konstruktionsaufgabe)?
- (3) Können Kinder unterschiedlichen Alters vorgegebene kategoriale und sequentielle Datenprotokolle korrekt dem jeweiligen Problem zuordnen, das damit optimal gelöst werden kann (Zuordnungsaufgabe)?
- (4) Lösen Kinder die Zuordnungsaufgabe häufiger als die Konstruktionsaufgabe?
- (5) Erkennen Kinder, dass kategoriale Informationen schneller aus einem kategorialen als aus einem sequentiellen Protokoll entnommen werden können? Hierbei soll überprüft werden, ob Kinder diesen Unterschied in der Ökonomie der Informationsentnahme (vgl. Kap. 1.2.3) erkennen, wenn sie anhand vorgegebener Datenprotokolle danach gefragt werden.

Die Fragen 1 bis 4 sind auch in Kapitel 1.5 aufgeführt und dort in den Vorüberlegungen kommentiert.

#### 2.1.1 Methode

##### 2.1.1.1 Versuchsteilnehmer

An der Studie nahmen 29 Kindergartenkinder ( $M = 6;2$  Jahre, Bereich =  $4;11 - 7;3$ , 14 Mädchen und 15 Jungen), 36 Kinder aus der zweiten Klasse ( $M = 8;5$  Jahre, Bereich =  $7;10 - 9;2$ , 15 Mädchen und 21 Jungen) und 25 Kinder aus der vierten Klasse ( $M = 10;8$  Jahre, Bereich =  $9;11 - 11;7$ , 13 Mädchen und 12 Jungen) teil. Die Erhebung fand in zwei Kindergärten in Oberbipp (CH) und Langenthal (CH) und in einer Primarschule in Langenthal (CH) statt. Die drei Altersgruppen werden nachfolgend als 6-, 8-, und 10-jährige bezeichnet.

#### 2.1.1.2 Materialien

*Kugelapparat und Laptop.* Das sequentielle und das kategoriale Problem wurde den Kindern über die in Abbildung 2.1 dargestellten Materialien erläutert. Auf dem Bildschirm eines Laptops wurde mit dem Programm Power Point gezeigt, wie eine Amselmutter jedes Mal, wenn sie an ihr Nest hüpft, eines ihrer drei im Nest sitzenden Jungen füttert. Jedes Junge ist mit einem farbigen Punkt (rot, gelb, blau) gekennzeichnet. Das Junge, das gefüttert wird, sitzt rechts im Nest. Durch Drücken der Maustaste wurde ein neues Fütterungsereignis gestartet. Bei dem kategorialen Problem wurden 14, bei dem sequentiellen Problem wurden 15 Fütterungsereignisse präsentiert. Nach diesen Fütterungsereignissen folgte das sog. „Abendbild“, ein schwarzer Bildschirm gekoppelt mit einem Signalton.

Die Tastatur des Laptops war in einen sog. Kugelapparat geschoben. An dem Kugelapparat befanden sich auf Seite des Kinds drei Röhrenausgänge. Über jedem Röhrenausgang war die Abbildung eines der drei Jungvögel angebracht. Diese Jungvögel waren hinsichtlich Form und farbigem Punkt identisch mit den auf dem Bildschirm dargestellten Jungvögeln. Auf der dem Kind abgewandten Seite des Kugelapparats befanden sich die Röhreneingänge, in die Kugeln gegeben werden konnten. Das Rollgeräusch der Kugeln in den Röhren war abgedämpft, so dass der Ort des Herausfallens einer Kugel nicht über das Gehör bestimmt werden konnte. Eine herausgefallene Kugel konnte mit einer Plastikdose aufgefangen werden. Wurde die Kugel nicht aufgefangen, so rollte sie unmittelbar nach dem Herausfallen aus einer Röhre auf dem Boden des Kugelapparats zur hinteren Seite des Apparats zurück.

Die beobachteten Fütterungsereignisse wurden mit runden roten, gelben und blauen Holzchips (Durchmesser 2 cm, Höhe 0.5 cm) protokolliert. Passend zu dem Farbpunkt eines gefütterten Vogeljungen wurde der farblich korrespondierende Holzchip auf eine rote Moosmatte (50 x 50 cm) gelegt. Die Moosmatte lag vor dem Kugelapparat.



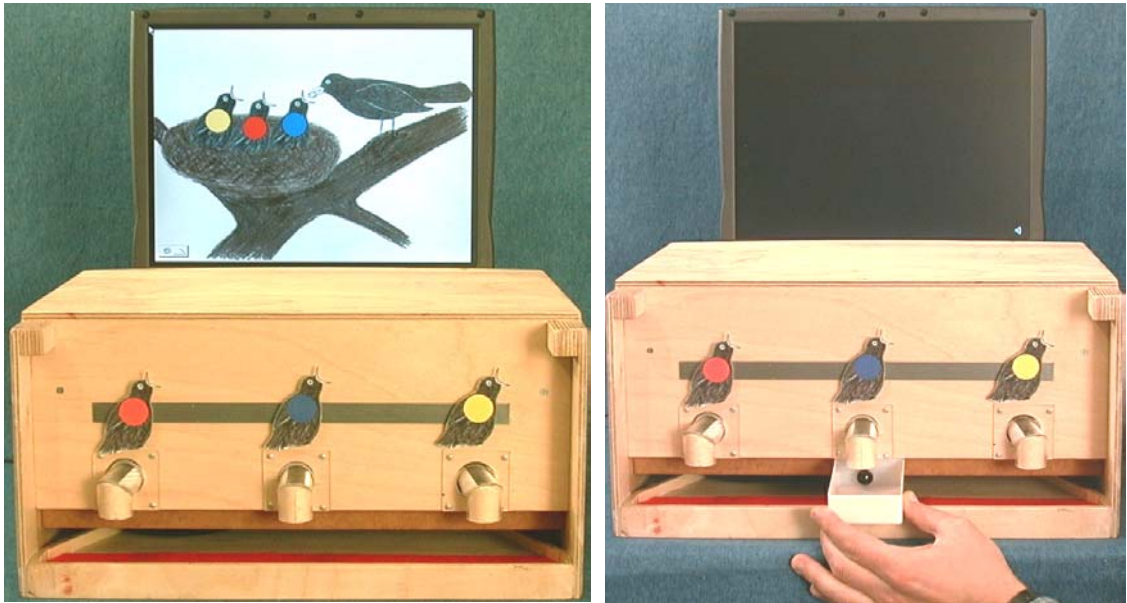


Abbildung 2.1. Kugelapparat mit Laptop aus Perspektive der Kinder (links). Auffangen der Kugel bei schwarzem Bildschirm („Abendbild“) unter dem Vogeljungen, das als nächstes gefüttert werden soll (rechts).

*Protokollvorlagen.* Nachdem die Kinder mit den Holzchips versucht hatten, das kategoriale und das sequentielle Problem zu lösen, bekamen sie jeweils auf einem DinA4 Blatt die Abbildung eines kategorialen und eines sequentiellen Protokolls vorgelegt (siehe Abbildung 2.2).

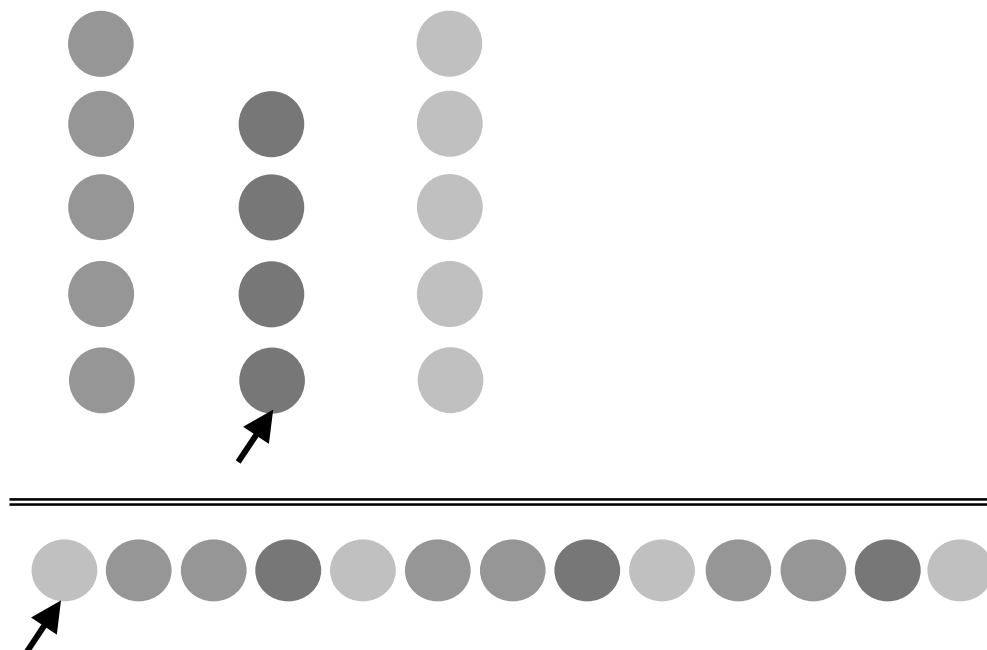


Abbildung 2.2. Verkleinerte Darstellung des kategorialen Protokolls (oben) und des sequentiellen Protokolls (unten). Bei dem kategorialen Protokoll war der linke Balken rot, der mittlere blau und der rechte gelb. Bei dem sequentiellen Protokoll war das Farbmuster gelb-rot-rot-blau usw. Die Pfeile markieren das Vogeljunge, das am Morgen als erstes gefüttert wurde.

### 2.1.1.3 Versuchsablauf

Die Kinder nahmen an der Studie einzeln in einem separaten Raum des Schulhauses oder des Kindergartens teil. Ein Versuchsdurchgang dauerte zwischen 20 und 25 Minuten.

*Einleitung in die Rahmengeschichte.* Die zu lösenden Probleme wurden anhand der oben beschriebenen Apparatur erklärt. In der Einleitungsphase sahen die Kinder drei Fütterungsereignisse, jedes der drei Vogeljungen wurde einmal gefüttert. Dazu wurde gesagt, dass eine Amselmutter jedes Mal, wenn sie an ihr Nest kommt, „ein Junges füttert“. Die Versuchsleiterin nannte die Farbe des Jungen, welches momentan gefüttert wurde. Weiter wurde gesagt, dass die Vogelmutter so lange weiter füttert, bis es Abend wird. Dazu wurde das „Abendbild“ (schwarzer Bildschirm mit Signalton) gezeigt und es wurde erklärt, dass „die Mutter *nach* dem Abendbild nur noch *ein* Junges füttert“.

*Darstellung der Probleme.* Eines der beiden Probleme – das kategoriale oder das sequentielle – wurde beschrieben, und die Kinder versuchten, dieses Problem mit Hilfe der Chips zu lösen. Nachfolgend wurde das andere Problem dargestellt und die Kinder versuchten, dieses Problem zu lösen. Die Abfolge der Präsentation von kategorialem und sequentiellem Problem war über Alter und Geschlecht der Kinder ausbalanciert. Unabhängig von der Position eines Problems (an erster oder an zweiter Stelle) wurde die gleiche Instruktion gegeben. Daher sind nachfolgend die Instruktionen ohne Berücksichtigung der Abfolge von kategorialem und sequentiellem Problem beschrieben.

Bei dem kategorialen Problem wurden die Kinder aufgefordert herauszufinden, „ob die Mutter am Abend ein Junges *weniger oft* gefüttert hat als die anderen. Dieses Junge soll nach dem Abendbild noch einmal gefüttert werden.“ Bei dem sequentiellen Problem wurden die Kinder aufgefordert herauszufinden, „*nach welcher Regel* die Mutter ihre Jungen *nacheinander* füttert und welches Junge nach dem Abendbild gefüttert werden soll.“

Nach Darstellung des ersten Problems wurde erklärt, dass „jedes Mal, wenn ein Junges gefüttert wird, ein Chip in der passenden Farbe“ gelegt werden soll. Die Kinder wurden aufgefordert, bei Erscheinen des „Abendbilds“ schnell zu „entscheiden, welches Junge als nächstes dran ist. Bei dem stellst Du die Dose hin.“ Das

schnelle Auffangen der Kugel nach dem „Abendbild“ wurde bei dem zuerst vorgestellten Problem veranschaulicht: „Vielleicht findest Du heraus, dass der blaue Vogel nach dem Abendbild dran ist [auf blauen Vogel über der Röhre zeigen]. Dann musst Du die Dose schnell hier hin stellen“ [Versuchsleiterin stellt die Dose unter die Röhre, gibt eine Kugel auf der hinteren Seite des Apparats in die passende Röhre und fängt die Kugel mit der Dose auf]. Das schnelle Auffangen der Kugel am richtigen Ort sollte die Kinder veranlassen, ihre Protokolle differenziert an beide Probleme anzupassen (siehe Kap. 1.5).

*Probearbeiten: Wie könnten die Chips am besten angeordnet werden?* Vor dem eigentlichen Beobachten von Fütterungsereignissen gab die Versuchsleiterin den Kindern bei jedem Problem eine festgelegte Anzahl von Chips. Diese sollten in Hinblick auf das spätere Protokollieren so angeordnet werden, dass das jeweilige Problem optimal gelöst werden kann. Damit sollten die Kinder die Gelegenheit bekommen, eine möglichst effiziente Strategie zur Lösung eines Problems zu entwickeln (siehe Kap. 1.3.4). Bei dem kategorialen Problem wurden jedem Kind von zwei Farben vier Chips und von einer Farbe drei Chips gegeben. Die Farbe mit drei Chips wurde zwischen den Kindern systematisch variiert. Es wurde gesagt: „Du kannst das Legen der Chips ausprobieren. Lege sie so, dass Du *gut und schnell* sehen kannst, welches Junge am wenigsten bekommen hat.“ Bei dem sequentiellen Problem wurden jedem Kind von jeder Farbe 4 Chips gegeben. Es wurde gesagt: „Du kannst das Legen der Chips ausprobieren. Lege sie so, dass Du *gut und schnell* sehen kannst, nach welcher Regel die Mutter ihre Jungen nacheinander füttert. Du kannst eine Regel erfinden.“ Die Chips wurden bei beiden Problemen vermischt vor das Kind auf die Matte gelegt, so dass weder die kategoriale, noch die sequentielle Lösung nahe gelegt wurde. Zur Anordnung der Chips wurde keine Rückmeldung in Form von Bestätigung oder Korrektur gegeben.

*Konstruktion: Legen und Anordnen der Chips sowie Versuch, das Problem zu lösen.* Anschließend beobachteten und protokollierten die Kinder die Fütterungsereignisse. Bei dem kategorialen Problem war die Abfolge der Farben von gefütterten Jungvögeln: blau, blau, rot, gelb, rot, gelb, gelb, rot, gelb, blau, blau, rot, blau, gelb, „Abendbild“ (14 Beobachtungen, 5 blau, 5 gelb, 4 rot). Bei dem sequentiellen Problem war die Abfolge der Farben von gefütterten Jungvögeln: gelb, gelb, rot, blau,

blau, gelb, gelb, rot, blau, blau, gelb, gelb, rot, blau, blau, „Abendbild“ (15 Beobachtungen, 6 blau, 6 gelb, 3 rot). Erst nach dem Legen eines Chips wurde ein neues Fütterungsereignis gezeigt. Die zeitliche Abfolge der dargebotenen Fütterungsereignisse war bei allen Kindern vergleichbar. Sobald das „Abendbild“ erschien, versuchten die Kinder bei beiden Problemen die Kugel mit Hilfe der Dose bei dem Jungen aufzufangen, das nach dem „Abendbild“ gefüttert werden sollte.

Beim Übergang vom ersten zum zweiten Problem wurde gesagt: „Du kannst gleich noch mal sehen, wie die Mutter ihre Jungen bis zum Abendbild füttert. Aber jetzt sollst Du *etwas anderes* herausfinden.“ Beim kategorialen Problem wurde gesagt: „Du sollst herausfinden, ob die Mutter am Abend ein Junges *weniger oft* gefüttert hat als die anderen. Dieses Junge soll nach dem Abendbild noch einmal gefüttert werden.“ Beim sequentiellen Problem wurde gesagt: „Du sollst herausfinden, *nach welcher Regel* die Mutter die Jungen *nacheinander* füttert und welches Junge nach dem Abendbild gefüttert werden soll.“

*Zuordnung von vorgegebenen Protokollen zu Problemen.* Jedem Kind wurden nach Bearbeitung beider Probleme Bilder eines sequentiellen und eines kategorialen Protokolls mit roten, blauen und gelben Punkten vorgelegt (siehe Abbildung 2.2). Die Punkte stellten die Chips dar. Es wurde erklärt, dass ein anderes Kind die Amseln an zwei verschiedenen Tagen beobachtet und die Fütterungen an beiden Tagen mit Chips fest gehalten hatte. In ausbalancierter Abfolge (über Alter und Geschlecht) wurde gezeigt, welches Junge bei jedem Protokoll am Morgen als erstes gefüttert wurde: „Am Morgen holt die Amsel Futter und füttert hier als erstes dieses Junge [Versuchsleiterin zeigt auf Chip mit Pfeil]. Und hier füttert sie als erstes dieses Junge [Versuchsleiterin zeigt auf Chip mit Pfeil].“ Bei dem sequentiellen Protokoll ist das erste Junge, das gefüttert wird, der erste Chip in der Sequenz (links), bei dem kategorialen Protokoll ist es der unterste Chip im mittleren der drei Balken. Diese Chips sind durch einen Pfeil markiert. Zu den Protokollen wurden zwei Fragen gestellt:

Zunächst sollten die Kinder die zwei Protokolle den zwei Problemen zuordnen:

- (1) „Einmal wollte das Kind sehen, nach welcher Regel die Mutter ihre Jungen nacheinander füttert. Einmal wollte es sehen, welches Junge am wenigsten bekam. Bei welchem geht es um die Regel? [Kind antwortet] Und bei welchem geht es darum, welches am wenigsten bekam? [Kind antwortet]“.
- (2) Die Kinder sollten entscheiden, aus welchem Protokoll schneller entnommen werden kann, welches der drei Jungen am wenigsten gefüttert wurde: „Siehst Du

da schneller, welches Junge am wenigsten bekommen hat oder siehst Du da schneller, welches Junge am wenigsten bekommen hat [auf Protokolle zeigen]?”

## 2.1.2 Auswertungen

### 2.1.2.1 Kodierungen

Die Anordnung der von den Kindern gelegten Chips wurde als kategorial, sequentiell oder als „Rest“ kategorisiert: (1) Unter „kategorial“ wurde die Gruppierung gleichfarbiger Chips, das Aufstapeln gleichfarbiger Chips, die Anordnung gleichfarbiger Chips in Balken (parallel sowie hintereinander angeordnete Balken) gefasst. (2) Unter „sequentiell“ wurden Anordnungen von Chips gefasst, bei denen die Chips korrespondierend zur zeitlichen Abfolge nacheinander gelegt wurden. Darunter fällt auch das Legen von Chips in mehrere Zeilen. (3) Als „Rest“ wurden Anordnungen von Chips klassifiziert, die den Kategorien „kategorial“ und „sequentiell“ nicht zugeordnet werden konnten.

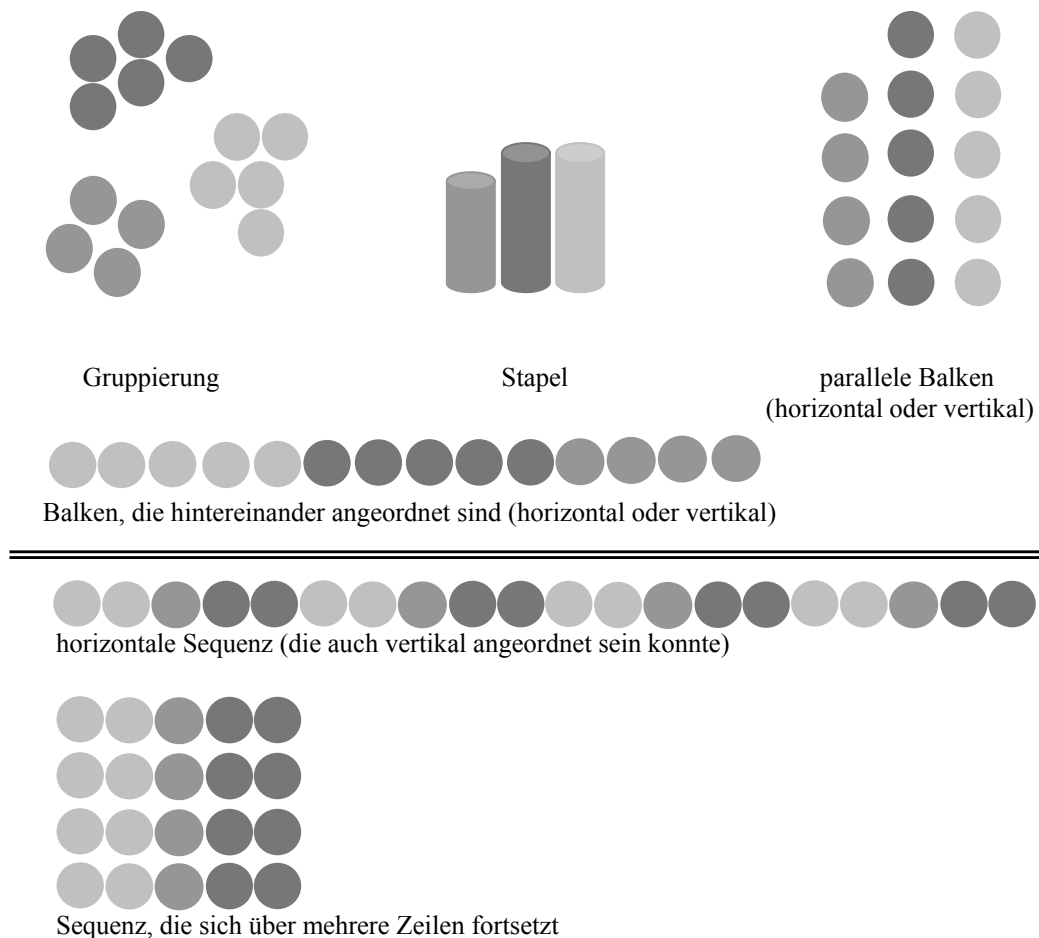


Abbildung 2.3. Beispiele für kategoriale Anordnungen von Chips (oben) und für sequentielle Anordnungen von Chips (unten).

Alle Versuchsdurchgänge wurden auf Video aufgenommen. Die Versuchsleiterin kodierte während der Versuchsdurchführung die Antworten der Kinder sowie die Anordnungen der von den Kindern gelegten Chips auf einem Protokollbogen. Ein unabhängiger Rater kodierte auf Grundlage der Videos die Antworten von 30 Kindern. Die Berechnung der Rater-Übereinstimmung bezieht sich auf 13 Antworten (4 Anordnungen von Chips; 9 mündliche Antworten, welche als korrekt oder als nicht korrekt kategorisiert wurden). Sie wurde berechnet als die Anzahl von Übereinstimmungen zwischen den beiden Ratern geteilt durch die Anzahl von Übereinstimmungen plus der Nicht-Übereinstimmungen. Gemittelt über alle Kodierungen ist die Übereinstimmung der zwei Rater .95 ( $\kappa = .92$ ). Unterschiede in der Kodierung zwischen beiden Ratern wurden anhand der Videoaufzeichnungen geklärt.

#### 2.1.2.2 Zur Wahl von Analyseverfahren

Bei Vierfeldertafeln (z.B. Vergleich der Zahl an Kindern zwischen den 6- und 8-jährigen, welche ihre Protokolle differenziert versus nicht differenziert an die Probleme anpassten) wurde der zweiseitige Vierfelder- $\chi^2$ -Test gerechnet. War die Stichprobengröße in dem Bereich  $20 < N < 60$ , so wurde bei dem Vierfeldertest eine Kontinuitätskorrektur nach Yates (1934, zit. nach Bortz, Lienert, & Boehnke, 1990) vorgenommen. Diese Korrekturen sind über Fußnoten gekennzeichnet. War bei dem Vierfelder- $\chi^2$ -Test der Erwartungswert von mindestens einer Zelle kleiner als 5, so wurde statt dessen Fisher's exact test (zweiseitig) gewählt (Bortz, Lienert, & Boehnke, 1990). Bei dem Vergleich von zwei mehrfach gestuften Merkmalen wurde Pearson's  $\chi^2$ -Test verwendet.

#### 2.1.3 Ergebnisse

*Wie ordnen die Kinder die Chips hinsichtlich der Kategorien „kategorial“, „sequentiell“ und „Rest“ an?* Die von den Kindern gelegten Chips wurden in 92% der Fälle den Kategorien „kategorial“ bzw. „sequentiell“ zugeordnet. Nur 8% der angeordneten Chips wurden als „Rest“ kategorisiert.

*Welche Rolle spielt die Abfolge von kategorialem und sequentiellem Problem (kat-seq oder seq-kat) für die Anordnung der Chips?* Es wird hierbei innerhalb der Altersgruppen verglichen, ob die Kinder in Abhängigkeit von der Problemabfolge eher (a) zwei kategoriale Protokolle oder (b) zwei sequentielle Protokolle erstellen. Eine differenzierte Anpassung beider Protokolle an die Probleme wird nicht berücksich-

sichtigt, da die Häufigkeitsunterschiede zwischen den Abfolgen gering sind und von den 6- und 8-jährigen nur wenige Kinder die Protokolle differenziert an die Struktur der Probleme anpassten.

Bei den 6-jährigen sind die Häufigkeiten zweimaliger kategorialer und zweimaliger sequentieller Anordnungen zwischen den zwei Problemabfolgen vergleichbar (Fisher's exact test,  $p > .05$ ).

Bei den 8-jährigen unterscheiden sich die Häufigkeiten unterschiedlicher Formen der Anordnung von Chips zwischen den zwei Problemabfolgen signifikant ( $\chi^2(1, N = 30) = 7.74, p < .01$ )<sup>2</sup>. Bei der Problemabfolge kat-seq erstellen die 8-jährigen häufiger zweimalig ein kategoriales Protokoll ( $n=12$ ) als bei der Problemabfolge seq-kat ( $n=6$ ). Bei der Problemabfolge seq-kat erstellen die 8-jährigen häufiger zweimalig ein sequentielles Protokoll ( $n=11$ ) als bei der Problemabfolge kat-seq ( $n=1$ ).

Bei den 10-jährigen unterscheiden sich die Häufigkeiten zweimaliger kategorialer und zweimaliger sequentieller Anordnung der Chips zwischen den beiden Problemabfolgen nicht signifikant (Fisher's exact test,  $p > .05$ ).

Die Rolle der Problemabfolgen für die Anordnung der Chips soll bei den nachfolgenden Analysen nicht berücksichtigt werden.

#### 2.1.3.1 Zum Erstellen von Protokollen

*Wie ordnen die Kinder die Chips zur Lösung der zwei Probleme an?* In Tabelle 2.1 und in Abbildung 2.4 ist der Anteil an Kindern für jede Altersgruppe aufgeführt, die (a) angepasst an die Probleme ein kategoriales und ein sequentielles Protokoll erstellten, (b) zwei sequentielle Protokolle erstellten, (c) zwei kategoriale Protokolle erstellten und (d) maximal ein sinnvolles Protokoll erstellten (Kategorie „sonstig“: nur eine der beiden Anordnungen von Chips ist als kategoriales oder als sequentielles Protokoll identifizierbar). Bei dieser und den nachfolgenden Analysen werden Kinder, deren Protokollmuster als „sonstig“ klassifiziert wurden, nicht berücksichtigt.

Die Anzahl an Kindern, die ihre Protokolle an beide Probleme anpassten, zwei sequentielle oder zwei kategoriale Protokolle erstellten, unterscheidet sich zwischen den Altersgruppen signifikant ( $\chi^2(4, N = 82) = 16.85, p < .01$ ). Die meisten 6- und 8-jährigen Kinder erstellten für beide Probleme dasselbe Protokoll, wobei häufi-

---

<sup>2</sup>  $\chi^2$ -Wert ist korrigiert nach Yates.

ger ein kategoriales als ein sequentielles Protokoll erstellt wurde. Im Unterschied dazu erstellten knapp die Hälfte der 10-jährigen Kinder Protokolle, die an beide Probleme angepasst sind.

Tabelle 2.1

*Anteil der Kinder aus jeder Altersgruppe, die (a) angepasst an die Probleme ein kategoriales und ein sequentielles Protokoll erstellen, (b) zwei sequentielle Protokolle erstellen, (c) zwei kategoriale Protokolle erstellen, (d) maximal ein sinnvolles Protokoll erstellen*

	6-jährige	8-jährige	10-jährige
	<i>n</i> (%)	<i>n</i> (%)	<i>n</i> (%)
seq. und kat. Protokoll, die an die Probleme angepasst sind	1 ( 3)	3 ( 8)	11 (44)
zwei sequentielle Protokolle	8 (28)	12 (34)	7 (28)
zwei kategoriale Protokolle	15 (52)	18 (50)	7 (28)
max. ein sinnvolles Protokoll	5 (17)	3 ( 8)	0 ( 0)

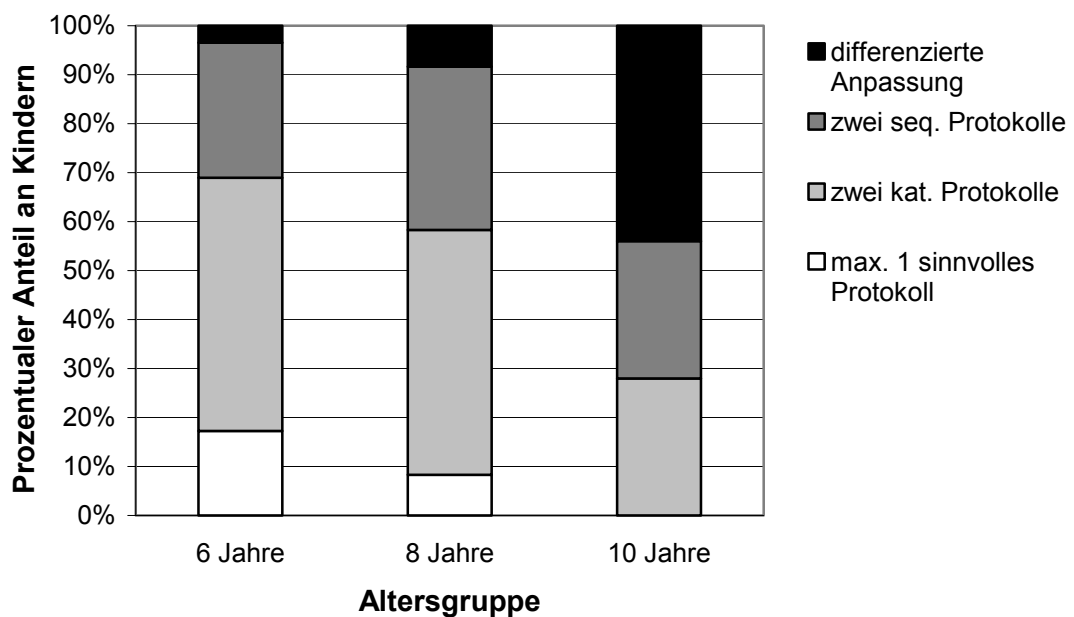


Abbildung 2.4. Prozentualer Anteil der Kinder, die (a) angepasst an die Probleme ein kategoriales und ein sequentielles Protokoll erstellen, (b) zwei sequentielle Protokolle erstellen, (c) zwei kategoriale Protokoll erstellen, (d) maximal ein sinnvolles Protokoll erstellen.

Kategoriale Protokolle sollten aufgrund ihrer einfachen Struktur vor allem von jüngeren Kindern häufiger als sequentielle Protokolle erstellt werden (vgl. Kap. 1.4.2). Es interessiert daher, wie häufig die Kinder über beide Probleme hinweg kategoriale und sequentielle Protokolle erstellen. Über beide Probleme hinweg beträgt der Anteil der sequentiellen Protokolle an der Gesamtzahl der erstellten kategorialen und sequentiellen Protokolle bei den 6-jährigen 37%, bei den 8-jährigen 25% und bei



den 10-jährigen 66%. Dieser Unterschied in der Häufigkeit des Erstellens von sequentiellen Protokollen ist zwischen den 10-jährigen und den 6- bzw. 8-jährigen Kindern signifikant verschieden ( $\chi^2(1, N = 110) = 9.07, p < .01$ ;  $\chi^2(1, N = 117) = 19.34, p < .001$ ). Demnach scheint jüngeren Kindern das Erstellen kategorialer Protokolle leichter zu fallen als das Erstellen sequentieller Protokolle.

*Wie adaptiv passen Kinder ihre Protokolle an die Struktur beider Probleme an?* Die Kinder sollten die Chips so anordnen, dass sie beide Probleme effizient und ökonomisch lösen können. Das heißt, das Arrangement der Chips sollte differenziert an die Struktur jedes Problems angepasst werden. Wie viele Kinder aus jeder Altersgruppe passen die Protokolle entweder differenziert an beide Probleme an oder erstellen zwei kategoriale bzw. zwei sequentielle Protokolle? Die 10-jährigen (44%) passten die Protokolle signifikant häufiger an beide Probleme an als die 6-jährigen (3%) und die 8-jährigen (8%), ( $\chi^2(1, N = 48) = 8.04, p < .01$ ;  $\chi^2(1, N = 58) = 7.67, p < .01^3$ ).

*Erstellen Kinder Protokolle, mit denen sie ein Problem oder beide Probleme lösen können?* In der vorigen Analyse interessierte die adaptive Anordnung der Chips bezüglich der zwei Probleme. Die Betonung einer „guten und schnellen“ Problemlösung sollte die Kinder anregen, die Chips differenziert an die Probleme anzupassen. Kinder, die zweimalig ein sequentielles Protokoll erstellten, vernachlässigten diese Instruktion möglicherweise. Das zweimalige Erstellen eines sequentiellen Protokolls könnte einer vorsichtig-konservativen Strategie entsprechen, bei der die sequentielle Information beibehalten wird, obwohl sie für die Lösung des kategorialen Problems nicht benötigt wird. In der nachfolgenden Analyse sind daher Kinder zusammengefasst, die mit ihren Protokollen prinzipiell beide Probleme lösen können (differenzierte Anpassung sowie zweimalig sequentielles Protokoll). Diese Gruppe wird verglichen mit den Kindern, die zweimalig ein kategoriales Protokoll erstellten. Von den 6-jährigen erstellten 31%, von den 8-jährigen 42% und von den 10-jährigen 72% der Kinder Protokolle, mit denen beide Probleme gelöst werden können ( $\chi^2(2, N = 82) = 6.57, p < .05$ ).

---

<sup>3</sup>  $\chi^2$ -Werte sind korrigiert nach Yates.

*Wie hängt die unterschiedliche Eignung der Protokolle für die Lösung der Probleme mit den tatsächlichen Lösungshäufigkeiten zusammen?* Das kategoriale Problem sollte mit beiden Protokollstrategien gleich häufig gelöst werden. Das sequentielle Problem sollte häufiger mit dem sequentiellen als mit dem kategorialen Protokoll gelöst werden.

Das kategoriale Problem wurde von Kindern mit sequentiellem Protokoll (88%) und von Kindern mit kategorialem Protokoll (95%) nahezu gleich häufig gelöst. Hingegen wurde das sequentielle Problem häufiger von Kindern mit sequentiellem Protokoll (79%) als von Kindern mit kategorialem Protokoll (28%) gelöst ( $\chi^2(1, N = 82) = 21.49, p < .001$ ). Demnach scheinen die Kinder das sequentielle Protokoll für die Lösung des sequentiellen Problems genutzt zu haben. Kinder, die das sequentielle Problem auch mit einem kategorialen Protokoll korrekt lösten, hatten die Abfolge möglicherweise erinnert. Allerdings ist die Häufigkeit der Kinder, die das sequentielle Problem mit dem kategorialen Protokoll gelöst haben, nicht signifikant verschieden von einer Ratewahrscheinlichkeit (33%) (Binomialtest,  $p > .05$ ).

*Wie häufig lösen die Kinder das kategoriale und das sequentielle Problem?*

In Tabelle 2.2 ist aufgeführt, wie viele Kinder aus jeder Altersgruppe das kategoriale und das sequentielle Problem korrekt lösten. Das kategoriale Problem wird von den meisten Kindern korrekt gelöst. Beim sequentiellen Problem unterscheidet sich die Anzahl an Kindern, die die Regel korrekt fortsetzten, zwischen den Altersgruppen signifikant ( $\chi^2(2, N = 90) = 11.27, p < .01$ ). Von den 10-jährigen setzten mehr Kinder die Regel korrekt fort als von den 6- und den 8-jährigen ( $\chi^2(1, N = 54) = 9.49, p < .01$ ;  $\chi^2(1, N = 60) = 2.89, p > .05^4$ ).

Tabelle 2.2

*Anzahl an Kindern, die das kategoriale Problem und Anteil an Kindern, die das sequentielle Problem korrekt lösen*

	6-jährige	8-jährige	10-jährige
	<i>n (%)</i>	<i>n (%)</i>	<i>n (%)</i>
korrekte Lösung von kategorialem Problem	21 (72)	36 (100)	23 (92)
korrekte Lösung von sequentiellem Problem	10 (34)	20 (56)	20 (80)

<sup>4</sup>  $\chi^2$ -Werte sind korrigiert nach Yates.

### 2.1.3.2 Zur Beurteilung verschiedener Aspekte der zwei vorgelegten Protokolle

*Ordnen Kinder unterschiedlichen Alters die zwei vorgelegten Protokolle dem sequentiellen und dem kategorialen Problem korrekt zu?* In Tabelle 2.3 sind die Anteile von Kindern aufgeführt, die beide Protokolle, nur ein Protokoll oder kein Protokoll den zwei Problemen korrekt zuordneten. Tendenziell ordneten ältere Kinder die Protokolle den zwei Problemen häufiger korrekt zu als jüngere Kinder. Der Anteil der Kinder, die *beide* Protokolle den Problemen korrekt zuordneten, ist in allen Altersgruppen signifikant verschieden von einem Anteil, der nach Zufall (.25) erwartet worden wäre (Binomialtest,  $p < .05$ ).

Tabelle 2.3

*Anteil an Kindern, die beide Protokolle, nur das sequentielle, nur das kategoriale oder kein Protokoll den beiden Problemen korrekt zuordnen*

	6-jährige	8-jährige	10-jährige
	<i>n</i> (%)	<i>n</i> (%)	<i>n</i> (%)
korrekt bei seq. und kat. Protokoll	12 (42)	20 (56)	16 (64)
korrekt bei seq. aber nicht kat. Protokoll	3 (10)	2 (6)	3 (12)
korrekt bei kat. aber nicht seq. Protokoll	7 (24)	4 (10)	4 (16)
nicht korrekt bei kat. und bei seq. Protokoll	7 (24)	10 (28)	2 (8)

*Erkennen Kinder, dass man relative Häufigkeiten schneller aus einem kategorialen als aus einem sequentiellen Protokoll entnehmen kann?* In allen drei Altersgruppen gab der Grossteil der 6-jährigen (72%), der 8-jährigen (78%) und der 10-jährigen (80%) an, dass relative Häufigkeiten ökonomischer und schneller aus dem kategorialen als aus dem sequentiellen Protokoll abgelesen werden können. Der Anteil an Kindern, der dies korrekt angab, unterscheidet sich bei allen Altersgruppen signifikant von einem Anteil, der nach Zufall (50%) erwartet worden wäre (Binomialtest,  $p < .05$ ).

### 2.1.3.3 Zum Vergleich der Konstruktions- mit der Zuordnungsaufgabe

*Gelingt Kindern eine differenzierte Zuordnung der Protokolle zu den Problemen häufiger als eine differenzierte Konstruktion von Protokollen für die Lösung der Probleme?* Eine differenzierte Zuordnung gelang den 6- und den 8-jährigen häu-

figer als eine differenzierte Konstruktion ( $\chi^2(1, N = 58) = 9.91, p < .01^5$ ;  $\chi^2(1, N = 72) = 18.46, p < .001$ ). Bei den 10-jährigen Kindern ist der Unterschied zwischen Zuordnung und Konstruktion nicht signifikant.

#### 2.1.4 Diskussion

Nahezu alle von den Kindern erstellten Anordnungen der Chips lassen sich als kategorial oder als sequentiell klassifizieren. Besonders die jüngeren Kinder hatten wahrscheinlich mit dem Lesen und Erstellen von protokollartigen Diagrammen keine oder nur geringe Erfahrungen. Dennoch ordneten sie die protokollierten Chips zur Lösung der zwei Probleme zumeist in kategorialer oder in sequentieller Form an. Tversky, Kugelmass & Winter (1991) fanden das vergleichbare Ergebnis, dass Kinder bereits im Vorschulalter abstrakte kategoriale und sequentielle Inhalte mit Klebepunkten räumlich darstellen können (vgl. Kap. 1.4.3).

Die *Zuordnung* vorgegebener Protokolle zu Problemen gelingt Kindern aller Altersgruppen häufiger als die adaptive *Konstruktion* von Chips zur Lösung der verschiedenen Probleme.

Dieses Resultat könnte mit der Reihenfolge von Konstruktions- und Zuordnungsaufgabe zusammen hängen. Die Kinder profitierten bei der Zuordnungsaufgabe möglicherweise von Erfahrungen, die sie bei der Konstruktionsaufgabe gesammelt hatten. Allerdings erstellten bei der Konstruktionsaufgabe nur sehr wenige 6- und 8-jährige Kinder Protokolle, die an die Struktur beider Probleme angepasst waren. Zudem bekamen die Kinder bei der Konstruktionsaufgabe keine Rückmeldung im Sinne einer Korrektur oder einer Bestätigung zur Eignung der erstellten Protokolle für die Lösung der Probleme. Ein Erfahrungstransfer von der Konstruktionsaufgabe auf die Zuordnungsaufgabe ist daher wenig wahrscheinlich.

Weiter könnte der Unterschied in der Anpassung von Protokollen an die zwei Probleme zwischen beiden Aufgabenformen mit Unterschieden zwischen den Problemräumen – insbesondere den externen Repräsentationsräumen – beider Aufgaben erklärt werden. Wie in Kapitel 1.3.2.1 beschrieben, beinhaltet ein externer Repräsentationsraum Möglichkeiten der Visualisierung von Informationen in einer externen Repräsentation zur Lösung eines Problems. Bei der Zuordnungsaufgabe werden zwei Alternativen zur Problemlösung vorgegeben, so dass der externe Repräsentations-

---

<sup>5</sup>  $\chi^2$ -Wert ist korrigiert nach Yates.

raum eingeschränkt ist. Bei der Konstruktionsaufgabe sind verschiedenste Arrangements der Chips vorstellbar. Der Repräsentationsraum ist offen. Eine Anpassung von Protokollen an die spezifische Struktur von Problemen scheint somit abhängig von der Aufgabe und der damit verbundenen Einschränkung des externen Repräsentationsraums zu sein.

Wie kann erklärt werden, dass besonders 6- und 8-jährige trotz der Möglichkeit des planenden Probelegens zur Lösung beider Probleme häufig zwei gleiche Protokolle erstellen und 10-jährige die Protokolle häufiger als 6- und 8-jährige an die Struktur *beider* Probleme anpassen?

Die Altersunterschiede in der Häufigkeit einer differenzierten Anpassung der Protokolle könnte auf ein unterschiedliches *Aufgabenverständnis* zwischen älteren und jüngeren Kindern zurückgeführt werden. Möglicherweise fällt es jüngeren Kindern schwerer als älteren Kindern, die in der jeweiligen Aufgabenstellung genannten Ideen von „relativen Häufigkeiten“ und von einer „Regel“ zu verstehen und beide Ideen voneinander zu unterscheiden. Ein Verstehen von relativen Häufigkeiten und besonders von der Idee einer Regel soll in den nachfolgenden Studien *vor* der Konstruktion von Protokollen überprüft werden.

Das zweimalige Erstellen des gleichen Protokolls könnte auch damit erklärt werden, dass besonders jüngere Kinder *gemeinsame und unterscheidende Merkmale eines kategorialen und eines sequentiellen Protokolls* nicht verstehen. Die differenzierte Zuordnung von Protokollen zu Problemen bei einem Großteil der Kinder ist ein Hinweis darauf, dass Kinder zwischen 6 und 10 Jahren das kategoriale und das sequentielle Protokoll voneinander unterscheiden können. Allerdings ist damit nicht geklärt, ob Kinder eine Idee von den in beiden Protokollen enthaltenen charakteristischen Informationskomponenten haben. Informationskomponenten, die aus kategorialen und sequentiellen Protokollen entnommen bzw. nicht entnommen werden können, sind relative Häufigkeiten, eine zeitliche Abfolge und – zumindest in der vorliegenden Studie – eine Regel. Für eine differenzierte Anpassung der räumlichen Struktur von Chips an die konzeptuelle Struktur von Problemen sollten Kinder verstehen, dass (a) in einem kategorialen Protokoll nur Häufigkeitsinformationen und (b) in einem sequentiellen Protokoll sowohl Häufigkeitsinformationen als auch

temporale Informationen enthalten sind. Einem Verstehen der verschiedenen Informationskomponenten bei sequentiell und kategorial Protokoll soll daher in **Studie 2** nachgegangen werden.

Das häufige zweimalige Erstellen von gleichen Protokollen bei jüngeren Kindern könnte auch mit dem in Kapitel 1.3.3 dargestellten Einstellungseffekt nach Luchins und Luchins (1969) zusammen hängen. Mit dem Einstellungseffekt oder der Automatisierung von Denkvorgängen ist gemeint, dass Personen aufgrund früherer Erfahrungen dazu verleitet werden, bestimmte Strategien gegenüber anderen zu bevorzugen, obwohl eine veränderte Problemstruktur den Einsatz anderer Strategien für eine optimale Lösung erfordert.

Weiter könnte ein zweimaliges Erstellen des gleichen Protokolls trotz unterschiedlicher Problemstruktur damit erklärt werden, dass jüngere Kinder den *Problemraum* – insbesondere den *externen Repräsentationsraum* (vgl. Kap. 1.3.2) – weniger gut überblicken als ältere Kinder. Dies könnte an Altersunterschieden im Umfang des Arbeitsgedächtnisses und der Verarbeitungseffizienz liegen (vgl. Case, 1992, 1995; Demetriou, Christou, Spanoudis, & Platsidou, 2002; Kail, 1991, 2000; Kail & Salthouse, 1994; Pascual-Leone, 1970). Möglicherweise fällt es älteren Kindern aufgrund eines umfangreicheren Arbeitsgedächtnisses und einer effizienteren Verarbeitung von Informationen leichter als jüngeren Kindern, ausgehend von der zuerst entwickelten Repräsentationsform eine andere, der neuen Aufgabe angemessenere Repräsentationsform zu entwickeln.

Sowohl für die Überwindung eines möglichen Einstellungseffekts als auch für eine adaptive Veränderung der Repräsentationsform bei einem Problemwechsel könnte eine situationale Einschränkung der Problemlösematerialien und damit verbunden eine Einschränkung des externen Repräsentationsraums hilfreich sein. Eine situationale Einschränkung kann bestimmte Strategien nahe legen. Zudem kann sie durch die Darstellung relevanter Informationen in der externen Repräsentation das Arbeitsgedächtnis entlasten (vgl. Zhang, 2000). Der Einfluss externer Einschränkungen auf die Anordnung von Chips beim Problemlösen soll u.a. in **Studie 3** überprüft werden. Hierbei interessiert zum einen, ob *verschieden starke situationale Einschränkungen* einen Einfluss auf die Anpassung von Protokollen an die Probleme haben. Zum anderen interessiert, ob Kinder unterschiedlichen Alters auf die abge-

stuften situationalen Einschränkungen mit unterschiedlichen Anordnungen von Chips reagieren.

## 2.2 Studie 2. Zum Verstehen von Informationskomponenten, die in einem kategorialen und einem sequentiellen Protokoll enthalten sind

Mit der vorliegenden Studie soll folgenden zwei Fragen nachgegangen werden:

- (1) Identifizieren Kinder die in einem kategorialen und in einem sequentiellen Protokoll enthaltenen bzw. nicht enthaltenen *Informationskomponenten* „relative Häufigkeiten“, „zeitliche Abfolge“ und „Regel“?
- (2) Hilft Kindern die *Auseinandersetzung mit Beispielen* eines kategorialen und eines sequentiellen Protokolls für die Anordnung von Chips zur Lösung eines sequentiellen Problems?

Das Erkennen und Verstehen der Informationskomponenten „relative Häufigkeiten“, „zeitliche Abfolge“ und „Regel“ scheint eine wichtige Voraussetzung dafür zu sein, dass Kinder Protokolle differenziert an ein kategoriales und ein sequentielles Problem anpassen können. In der vorliegenden Studie sollen Kinder die Informationskomponenten anhand vorgegebener Bilder eines kategorialen und sequentiellen Protokolls identifizieren. Diese Aufgabe ist der Zuordnungsaufgabe von Studie 1 ähnlich, bei der Kinder vorgegebene Protokolle den zwei Problemen zuordnen sollten. Selbst 6-jährige ordneten die zwei Protokolle überzufällig häufig korrekt den zwei Problemen zu. Daraus kann geschlossen werden, dass Kinder die Informationskomponenten – zumindest innerhalb der Zuordnungsaufgabe – verstehen und unterscheiden.

Nach Beschäftigung mit den zwei Protokollbeispielen sollen die Kinder in einem zweiten Schritt – vergleichbar mit Studie 1 – das Füttern der Amseljunges beobachten und die Chips dabei so anordnen, dass sie aus dem Protokoll relative Häufigkeiten *und* eine Regel entnehmen können. Nur ein sequentielles Problem ist hierfür geeignet. Alternativ zu dieser Aufgabe hätten die Kinder nach Auseinandersetzung mit den Protokollvorlagen in ausbalancierter Abfolge sowohl ein kategoriales als auch ein sequentielles Problem lösen können. Allerdings interessierte in der vorliegenden Studie, ob Kinder die beiden geforderten Informationskomponenten (relative Häufigkeiten und eine Regel), über die zuvor anhand vorgegebener Proto-



kolle gesprochen wurde, für die Erstellung eines adäquaten Protokoll kombinieren können.

Wie in Kapitel 1.3.2.2 dargestellt, können Beispiele als situationale Einschränkungen Zielstrukturen für das Lösen eines Problems vermitteln und besonders beim erstmaligen Lösen einer Aufgabe die kognitive Beanspruchung reduzieren (Cary & Carlson, 1999). Es ist daher zu erwarten, dass selbst Vorschulkinder nach einer Auseinandersetzung mit Protokollbeispielen bei einer Konstruktionsaufgabe die Chips häufig an die Struktur eines Problems anpassen. Aus diesem Grund wurde die Studie mit Kindern im Alter zwischen 5 und 8 Jahren durchgeführt. Eine Kontrollgruppe von Kindern, die vor der Bearbeitung des sequentiellen Problems keine Protokollvorlagen sahen, wurde aus ökonomischen Gründen nicht erhoben.

## **2.2.1 Methode**

### **2.2.1.1 Versuchsteilnehmer**

An der Studie nahmen 28 Kindergartenkinder ( $M = 5;5$  Jahre, Bereich =  $4;8 - 6;6$ , 8 Mädchen und 20 Jungen) aus einem Kindergarten in Freiburg (D) sowie 25 Kinder aus der ersten Klasse ( $M = 7;4$  Jahre, Bereich =  $6;9 - 7;9$ , 14 Mädchen und 11 Jungen) und 24 Kinder aus der zweiten Klasse ( $M = 8;0$  Jahre, Bereich =  $7;6 - 8;8$ , 14 Mädchen und 10 Jungen) einer Grundschule in Freiburg (D) teil. Die drei Altersgruppen werden nachfolgend als 5-, 7-, und 8-jährige bezeichnet.

### **2.2.1.2 Versuchsablauf und Materialien**

In Studie 2 wurden die gleichen Materialien verwendet wie in Studie 1. Nicht eingesetzt wurde der Kugelapparat. Teile des Versuchsablaufs von Studie 2 stimmen mit dem Ablauf von Studie 1 überein.

*Einführung in Rahmengeschichte.* Wie bei Studie 1 wurde den Kindern anhand von Bildern auf dem Bildschirm eines Laptops beschrieben, dass eine Vogelmutter ihre drei Jungen so lange füttert, bis es Abend wird (Präsentation von drei Fütterungsereignissen und dem „Abendbild“ mit Signalton). Im Unterschied zu Studie 1 spielte die Fortsetzung des Fütterns nach dem „Abendbild“ keine Rolle.

*Präsentation von sequentiellem und kategorialem Protokoll.* Es wurde beschrieben, wie verschiedene Anordnungen von Chips entstehen können: „Zwei Kinder haben zugesehen, wie die Amselmutter ihre Jungen vom Morgen bis zum Abend füttert. Ein Kind hat an einem Tag zugesehen und ein anderes Kind hat an einem anderen Tag zugesehen. Jedes Mal, wenn das rote Junge gefüttert wurde, hat jedes Kind einen roten Chip gelegt, beim gelben Jungen einen gelben Chip und beim blauen Jungen einen blauen Chip“. Entsprechende farbige Chips wurden vom Versuchsleiter gezeigt, aber nicht gelegt. Anschließend wurden die in Studie 1 verwendeten Bilder eines kategorialen und eines sequentiellen Protokolls vorgelegt (siehe Abbildung 2.2, S. 52). Die Position der Protokolle – links oder rechts aus Sicht der Kinder – war innerhalb von Alter und Geschlecht ausbalanciert. Es wurde erklärt: „Hier sind Bilder von den gelegten Chips. Das hier hat das eine Kind und das hier hat das andere Kind gemacht. Am Morgen hat die Mutter hier [sequentiell] als erstes dieses Junge gefüttert [Versuchsleiter zeigt auf Chip mit Pfeil]. Und hier [kategorial] hat sie am Morgen als erstes dieses Junge gefüttert [Versuchsleiter zeigt auf Chip mit Pfeil].“

*Fragen zu Informationskomponenten, die in den Protokollen enthalten oder nicht enthalten sind.* Den Kindern wurden zuerst zu dem sequentiellen und dann zu dem kategorialen Protokoll drei identische Fragen gestellt. Diese Abfolge wurde gewählt, da eine Frage zu einer Regel, nach der die drei Jungen gefüttert werden, nur am Beispiel des sequentiellen Protokolls sinnvoll beantwortet werden kann. Die Frage zu einer Regel bei einem zuerst präsentierten kategorialen Protokoll wäre deutlich schwerer zu beantworten, da die Kinder dafür eine Idee von einer Regel haben und die Abwesenheit einer Regel erkennen können müssten. Das Protokoll, zu dem die Fragen gestellt wurden, lag vor dem Kind. Das andere Protokoll war währenddessen umgedreht. Folgende drei Fragen wurden zu jedem Protokoll gestellt:

Die erste Frage bezieht sich auf die Informationskomponente der „*relativen Häufigkeit*“: „Kann man hier sehen, welches von den drei Jungen am wenigsten bekommen hat?“

Die zweite Frage bezieht sich auf die Informationskomponente der „*Regel*“: „Kann man hier sehen, nach welcher Regel die Jungen nacheinander gefüttert wurden oder kann man es nicht sehen?“ Um eine Regel erkennen zu können, muss sowohl die zeitliche Abfolge berücksichtigt als auch nach einem Muster über diese

zeitliche Abfolge gesucht werden. Bei dem sequentiellen Protokoll wurden folgende weiterführende Fragen gestellt: Antwortete ein Kind mit „ja“, so wurde es aufgefordert, die Regel vorzulesen. Falls ein Kind mit „nein“ antwortete, wurde gesagt: „Lies mir doch mal vor, wie die Jungen nacheinander gefüttert wurden.“ Anschließend wurde gefragt: „Kannst Du mir jetzt die Regel sagen, wie sie nacheinander gefüttert wurden?“ Ausgewertet wurde nur die Antwort auf die erste Frage. Kinder, die auf die erste Frage eine falsche Antwort gaben, konnten die Idee einer „Regel“ möglicherweise durch die nachfolgenden Fragen verstehen.

Weniger anspruchsvoll als die zweite ist die dritte Frage, die sich auf die „*zeitliche Abfolge*“ bezieht: „Kann man hier sicher wissen, welches Junge als zweites gefüttert wurde oder kann man es nicht sicher wissen?“ Bei dem kategorialen Protokoll kann man nicht sicher wissen, welches Junge als zweites gefüttert wurde. Bei dem sequentiellen Protokoll sollte man sich – in Anlehnung an die Konvention des Schreibens von links nach rechts – relativ sicher sein, welches Junge als zweites gefüttert wurde.

Zu Antworten der Kinder wurde keine Rückmeldung gegeben.

*Erstellen eines Protokolls.* Beide Protokolle wurden aus Sicht der Kinder gebracht. Sie wurden aufgefordert, ein Protokoll zu erstellen, aus dem sowohl die sequentielle als auch die kategoriale Informationskomponente entnommen werden kann: „Jetzt sollst *Du* das Füttern so lange beobachten, bis das Abendbild kommt. Für jedes Junge, das Du siehst, legst Du einen Chip in der passenden Farbe. Und nach dem Abendbild sollst Du mir zwei Fragen beantworten: „*Nach welcher Regel* hat die Mutter die Jungen *nacheinander* gefüttert? Welches Junge hat bis zu dem Abendbild *am wenigsten* bekommen? Wie legst Du die Chips am besten, damit Du *beide* Fragen gut beantworten kannst?“ Die Abfolge, in der beide Fragen genannt wurden, war innerhalb von Alter und Geschlecht ausbalanciert. Es wurde angeboten, die zwei Fragen zu wiederholen.

Die Kinder beobachteten auf dem Bildschirm die Fütterungsabfolge, die mit der sequentiellen Abfolge von Studie 1 identisch ist (gelb, gelb, rot, blau, blau, etc.). Zu den von den Kindern angeordneten Chips wurden folgende zwei Fragen gestellt: „Welches Junge hat bis zum Abend am wenigsten bekommen?“; „Nach welcher Regel wurden die Jungen nacheinander gefüttert?“

## 2.2.2 Ergebnisse

### 2.2.2.1 Kodierungen

Die Anordnung der von den Kindern gelegten Chips wurde wie in Studie 1 als kategorial, sequentiell oder als „Rest“ kategorisiert. Alle Versuchsdurchgänge wurden auf Video aufgenommen. Die Antworten der Kinder und die Anordnung der von den Kindern gelegten Chips wurden während der Versuchsdurchführung von dem Versuchsleiter auf einem Protokollbogen kodiert. Eine unabhängige Raterin kodierte auf Grundlage der Videos die Antworten von 15 Kindern. Die Berechnung der Rater-Übereinstimmung bezieht sich auf 10 Antworten (1 Anordnung von Chips; 9 mündliche Antworten, welche als korrekt oder als nicht korrekt kategorisiert wurden). Sie wurde berechnet als die Anzahl von Übereinstimmungen zwischen den beiden Ratern geteilt durch die Anzahl von Übereinstimmungen plus der Nicht-Übereinstimmungen. Gemittelt über alle Aufgaben beträgt die Übereinstimmung .99 ( $\kappa = .87$ ). Unterschiede in der Kodierung zwischen beiden Ratern wurden anhand der Videoaufzeichnungen geklärt.

Die Daten wurden gemäß der in Studie 1 beschriebenen Verfahren analysiert.

### 2.2.2.2 Beurteilung verschiedener Aspekte der zwei vorgelegten Protokolle

*Welche Fragen zu Informationskomponenten beantworten die Kinder beim sequentiellen Protokoll korrekt?* In Tabelle 2.4 ist für jede der drei Fragen die Anzahl von Kindern mit korrekten Antworten zu dem sequentiellen Protokoll aufgeführt. Die meisten Kinder beantworteten die Frage zu den relativen Häufigkeiten korrekt. Hingegen gaben die Kinder der drei Altersgruppen unterschiedlich häufig korrekt an, dass aus dem sequentiellen Protokoll eine Regel ablesbar ist ( $\chi^2(2, N = 77) = 9.67, p < .01$ ). Die 7- und 8-jährigen gaben dies häufiger korrekt an als die 5-jährigen ( $\chi^2(1, N = 53) = 5.34, p < .05$ ;  $\chi^2(1, N = 52) = 6.09, p < .05^6$ ). Die meisten Kinder gaben korrekt an, dass man aus dem sequentiellen Protokoll mit hoher Sicherheit ablesen kann, welches Junge als Zweites gefüttert wurde.

---

<sup>6</sup>  $\chi^2$ -Werte sind korrigiert nach Yates.

Tabelle 2.4

*Korrekte Antworten beim sequentiellen Protokoll zu den Fragen (a) nach relativen Häufigkeiten, (b) nach einer Regel, (c) nach der Sicherheit, das zweite Junge in der Abfolge identifizieren zu können*

	5-jährige	7-jährige	8-jährige
	$N = 28$	$N = 25$	$N = 24$
	$n$ (%)	$n$ (%)	$n$ (%)
(a) Identifizierung von relativen Häufigkeiten	23 (82)	24 (96)	23 (96)
(b) Identifizierung von Regel	8 (29)	16 (64)	16 (67)
(c) Sicherheit bei Abfolge	21 (75)	23 (92)	22 (92)

*Welche Fragen zu Informationskomponenten beantworten die Kinder bei dem kategorialen Protokoll korrekt?* In Tabelle 2.5 ist für jede der drei Fragen die Anzahl von Kindern mit korrekten Antworten zu dem kategorialen Protokoll aufgeführt. Alle Kinder aus allen drei Altersgruppen gaben auf Grundlage des kategorialen Protokolls korrekt an, welches von den drei Jungen am wenigsten bekommen hat. Mit zunehmendem Alter gaben die Kinder häufiger richtig an, dass man sich bei dem kategorialen Protokoll nicht sicher sein kann, nach welcher Regel die drei Jungen nacheinander gefüttert wurden ( $\chi^2(2, N = 77) = 9.45, p < .01$ ). Dieser Effekt ist auf den Unterschied zwischen den 8-jährigen und den 5-jährigen zurückzuführen ( $\chi^2(1, N = 52) = 7.32, p < .01$ )<sup>7</sup>.

Mit zunehmendem Alter gaben die Kinder häufiger korrekt an, dass man aus dem kategorialen Protokoll nicht mit Sicherheit ablesen kann, welches von den drei Jungen als Zweites gefüttert wurde ( $\chi^2(2, N = 77) = 11.46, p < .01$ ). Dieser Effekt ist ebenso auf den Unterschied zwischen den 8-jährigen und den 5-jährigen zurückzuführen ( $\chi^2(1, N = 52) = 9.27, p < .01$ )<sup>8</sup>.

<sup>7</sup>  $\chi^2$ -Wert ist korrigiert nach Yates.

<sup>8</sup>  $\chi^2$ -Wert ist korrigiert nach Yates.

Tabelle 2.5

*Korrekte Antworten beim kategorialen Protokoll zu den Fragen (a) nach relativen Häufigkeiten, (b) nach einer Regel, (c) nach der Sicherheit, das zweite Junge in der Abfolge identifizieren zu können*

	5-jährige	7-jährige	8-jährige
	<i>N</i> = 28	<i>N</i> = 25	<i>N</i> = 24
	<i>n</i> (%)	<i>n</i> (%)	<i>n</i> (%)
(a) Identifizierung von relativen Häufigkeiten	28 (100)	25 (100)	24 (100)
(b) Identifizierung von Regel	12 ( 43)	17 ( 68)	20 ( 83)
(c) Sicherheit bei Abfolge	12 ( 43)	17 ( 68)	21 ( 88)

### 2.2.2.3 Erstellen eines Protokolls

*Wie ordnen die Kinder die Chips an?* Nach Beantwortung der Fragen zu beiden Protokollen sollten die Kinder das Füttern der drei Jungen beobachten und mit Chips protokollieren. Die Kinder sollten die Chips so anordnen, dass sie nach dem „Abendbild“ bestimmen können, nach welcher Regel die Amselmutter ihre Jungen fütterte *und* welches von den drei Jungen am wenigsten bekommen hatte. In Tabelle 2.6 ist die Anzahl der Kinder aufgeführt, die die Chips sequentiell, kategorial oder in anderer Form (Kategorie „Rest“) angeordnet haben.

Tabelle 2.6

*Anordnung der Chips in sequentieller, kategorialer oder in anderer Form („Rest“)*

	5-jährige	7-jährige	8-jährige
	<i>n</i> (%)	<i>n</i> (%)	<i>n</i> (%)
sequentielles Protokoll	15 (54)	20 (80)	21 (88)
kategoriales Protokoll	5 (18)	4 (16)	3 (12)
andere Anordnung („Rest“)	8 (28)	1 ( 4)	0 ( 0)

Bei einem Vergleich der Kinder, die ein sequentielles Protokoll erstellten mit den Kindern, die ihre Chips anders anordneten (kategoriales Protokoll oder andere Anordnung), ergibt sich ein signifikanter Altersunterschied ( $\chi^2(2, N = 77) = 8.49, p < .05$ ). Dabei unterscheiden sich nur die 5- von den 8-jährigen Kindern signifikant ( $\chi^2(1, N = 52) = 5.48, p < .05$ )<sup>9</sup>.

<sup>9</sup>  $\chi^2$ -Wert ist korrigiert nach Yates.

*Wie häufig lösen die Kinder das Problem?* Alle Kinder entnahmen den gelegten Chips korrekt, welches der drei Jungen am wenigsten gefüttert wurde. Mit zunehmendem Alter erkennen die Kinder häufiger korrekt, nach welcher Regel die drei Jungen nacheinander gefüttert wurden, ( $\chi^2(2, N = 77) = 20.91, p < .001$ ). Von den 5-jährigen identifizieren 7 (25%), von den 7-jährigen 18 (72%) und von den 8-jährigen 20 (83%) Kinder die Regel, nach der die drei Jungen gefüttert wurden. Die 5-jährigen unterscheiden sich hierbei signifikant von den 7- und den 8-jährigen ( $\chi^2(1, N = 53) = 9.9, p < .01$ ;  $\chi^2(1, N = 52) = 15.36, p < .001^{10}$ ).

### 2.2.3 Diskussion

*Welche Informationskomponenten schreiben Kinder unterschiedlichen Alters einem kategorialen und einem sequentiellen Protokoll zu?*

Der überwiegende Teil der Kinder im Alter von 7 und 8 Jahren erkennt die in einem kategorialen und in einem sequentiellen Protokoll vorhandenen und nicht vorhandenen Informationskomponenten „relative Häufigkeit“, „temporale Abfolge“ und „Regel“. Dabei scheint den 7- und 8-jährigen die Bestimmung einer vorhandenen bzw. nicht vorhandenen „Regel“ schwerer zu fallen als die Identifizierung der zwei anderen Informationskomponenten.

Kinder im Alter von 5 Jahren identifizieren die Informationskomponente der „temporalen Abfolge“ beim sequentiellen Protokoll häufig korrekt. Allerdings nehmen viele 5-jährige fälschlicherweise an, eine temporale Abfolge könne auch aus einem kategorialen Protokoll entnommen werden. Das Erkennen einer „Regel“ fällt vielen 5-jährigen sowohl beim kategorialen als auch beim sequentiellen Protokoll schwer.

Aus den Ergebnissen kann geschlossen werden, dass ein großer Teil der Kinder im Alter von 7 und 8 Jahren aufgrund ihres relativ guten Verstehens der Informationskomponenten bei dem kategorialen und sequentiellen Protokoll in der Lage sind, die beiden Protokollformen voneinander zu unterscheiden und Protokolle differenziert an ein kategoriales und ein sequentielles Problem anzupassen – sowohl bei einer Zuordnungsaufgabe als auch bei einer Konstruktionsaufgabe. Kindern im Alter von 5 Jahren scheint es schwer zu fallen, die Informationskomponenten zu erkennen,

---

<sup>10</sup>  $\chi^2$ -Werte sind korrigiert nach Yates.

so dass sie bei einer differenzierten Anpassung von Protokollen an Probleme Schwierigkeiten haben müssten.

*Welche Rolle spielt eine Auseinandersetzung mit Beispielen eines kategorialen und sequentiellen Protokolls für die Konstruktion von Protokollen?*

Zur Beantwortung dieser Frage soll das Ergebnis der vorliegenden Studie 2 mit dem Ergebnis bei der Konstruktionsaufgabe aus Studie 1 verglichen werden. In der vorliegenden Studie konnten sich die Kinder vor dem Erstellen eines Protokolls mit Beispielen für ein kategoriales und ein sequentielles Protokoll vertraut machen. Dabei wurden sie über die Fragen zu jedem Protokoll auf wichtige Informationskomponenten hingewiesen. In Studie 1 sollten die Kinder Protokolle ohne Vorkenntnisse über mögliche Protokollformen erstellen. Es interessiert daher, ob Kinder mit Vorwissen über mögliche Protokolle eher ein adäquates Protokoll erstellen als Kinder ohne Vorwissen zu möglichen Protokollformen wie in Studie 1. Die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zwischen Studie 1 und 2 ist u.a. aus folgenden Gründen eingeschränkt: (a) In der vorliegenden Studie sollten Kinder ein Protokoll erstellen, aus dem sowohl relative Häufigkeiten als auch eine Regel entnommen werden können. Dies ist nur mit einem sequentiellen Protokoll möglich. In Studie 1 sollten die Kinder nacheinander ein Protokoll zur Lösung eines kategorialen und ein Protokoll zur Lösung eines sequentiellen Problems erstellen. Beide Probleme konnten entweder über eine differenzierte Anpassung der Protokolle an die Probleme oder über zwei sequentielle Protokolle gelöst werden. Es werden daher Kinder, die in der vorliegenden Studie ein sequentielles Protokoll erstellten verglichen mit Kindern, die in Studie 1 zwei Protokolle erstellten, mit denen beide Probleme gelöst werden können. (b) Zwischen beiden Studien können nur die zwei Altersgruppen der 5- bzw. 6-jährigen und der 8-jährigen verglichen werden.

In Studie 1 erstellten 31% der 6-jährigen, 42% der 8-jährigen und 72% der 10-jährigen zwei Protokolle, mit denen beide Probleme gelöst werden konnten. In der vorliegenden Studie erstellten 54% der 5-jährigen, 80% der 7-jährigen und 88% der 8-jährigen korrekt ein (sequentielles) Protokoll, mit dem beide Probleme gelöst werden konnten. Verglichen mit den 6- und 8-jährigen in Studie 1 ohne Vorkenntnisse über mögliche Protokollstrukturen erstellen die 5- und die 8-jährigen Kinder in der vorliegenden Studie deutlich häufiger ein adäquates Protokoll. Wichtig ist, dass in Studie 2 beim Erstellen eines Protokolls nicht darauf hingewiesen wurde, die



Chips wie bei einem der zuvor betrachteten Datenprotokolle anzuordnen. Dennoch scheint die gelenkte Auseinandersetzung mit den Protokollbeispielen geholfen zu haben, den externen Repräsentationsraum einzuschränken und die kognitive Beanspruchung beim Erstellen eines adäquaten Protokolls zu reduzieren (vgl. Kap. 1.3.2.1).

Wird der externe Repräsentationsraum wie in Studie 1 bei der Zuordnungsaufgabe oder wie in der vorliegenden Studie über die Auseinandersetzung mit den zwei Protokollformen eingeschränkt, gelingt selbst Vorschulkindern eine differenzierte Zuordnung von Protokollen zu Problemen (Studie 1) bzw. die Konstruktion eines optimalen Protokolls (Studie 2) verhältnismäßig häufig.

In der nachfolgenden Studie 3 soll die Rolle *unterschiedlich starker situationaler Einschränkungen* bei der Anpassung von Protokollen an ein kategoriales und an ein sequentielles Problem untersucht werden. Unterschiedliche Grade der situationalen Einschränkung sollen über die Strukturierung von Protokollvorlagen realisiert werden.

### **2.3 Studie 3. Zur Rolle verschieden starker situationaler Einschränkungen bei der Konstruktion externer Repräsentationen zur Lösung kategorialer und sequentieller Probleme**

Mit der vorliegenden Studie wurde folgenden Fragestellungen nachgegangen:

- (1) Erstellen Kinder externe Repräsentationen, die als kategoriales oder als sequentielles Datenprotokoll klassifiziert werden können?
- (2) Passen Kinder unterschiedlichen Alters die Anordnung von Chips an die Struktur eines kategorialen und eines sequentiellen Problems so an, dass sie beide Probleme effizient und schnell lösen können?
- (3) Berücksichtigen und nutzen Kinder unterschiedlichen Alters verschieden stark eingeschränkte Problemlösematerialien (situationaler Einschränkungen) für die Konstruktion externer Repräsentationen zur Lösung von Problemen (vgl. Kap. 1.3.2.2)?

Drei verschieden stark eingeschränkte Protokollvorlagen, die in Abbildung 2.5 dargestellt sind, wurden zur Untersuchung der dritten Fragestellung verwendet:

- (a) Ein unstrukturiertes quadratisches Brett, das mit der roten Matte aus Studie 1 vergleichbar ist.
- (b) Ein strukturiertes quadratisches Brett, auf das ein Gittermuster gezeichnet ist. In jedes Quadrat des Musters kann ein Chip gelegt werden.
- (c) Zwei rechteckige „Schablonen“-Brettchen, auf denen jeweils ein Gittermuster gezeichnet ist. Bei jedem Problem wurden die Kinder aufgefordert zu entscheiden, auf welche der zwei Schablonen sie die Chips legen möchten. Eine der Schablonen soll eine kategoriale Anordnung und die andere Schablone eine sequentielle Anordnung der Chips nahe legen (siehe Abbildung 2.5).

Im Unterschied zu dem leeren Quadrat sind das strukturierte Quadrat und die Schablonen durch die Gittermuster strukturiert. Die Gittermuster legen möglicherweise eine horizontale und vertikale Anordnung von Chips und – damit verbunden – ein Legen der Chips angepasst an die jeweilige Problemstruktur näher als das leere Quadrat. Im Unterschied zu dem leeren Quadrat und dem strukturierten Quadrat sind die Schablonen durch ihre äußere Form eingeschränkt. Durch diese Formen wird den Kindern möglicherweise das Erstellen einer Anordnung der Chips, die an beide Probleme angepasst ist, näher gelegt als über die zwei Quadrate. Das heißt, die in

Abbildung 2.5 dargestellten Protokollvorlagen sind abgestuft von (a) nach (c) zunehmend strukturiert und eingeschränkt.

Nach den Ergebnissen von Studie 2 scheinen besonders 5-jährige aber auch einige 7- und 8-jährige Kinder mit dem Verstehen der Idee einer Regel Schwierigkeiten zu haben. Aus diesem Grund wurde den Kindern in der vorliegenden Studie vor der Konstruktion von Protokollen ein Modell einer Regel gegeben und es wurde überprüft, ob Kinder diese Regel korrekt fortsetzen können. Beim Probelegen von Chips für die Lösung des sequentiellen Problems wurden die Kinder aufgefordert, diese Regel anzuwenden.

### **2.3.1 Methode**

#### **2.3.1.1 Versuchsteilnehmer**

An der Studie nahmen 243 Kinder, davon 99 Kindergartenkinder ( $M = 5;7$  Jahre, Bereich = 4;5 – 6;7; 51 Mädchen und 48 Jungen), 67 Kinder aus der zweiten Klasse ( $M = 8;5$  Jahre, Bereich = 7;1 – 9;8, 32 Mädchen und 35 Jungen) und 77 Kinder aus der vierten Klasse ( $M = 10;5$  Jahre, Bereich = 9;4 – 12;1, 40 Mädchen und 37 Jungen) teil. Die Erhebung fand in 5 Kindergärten in Greifensee (CH) und in 3 Primarschulen in Hinwil, Chur und Felsberg (CH) statt. Die drei Altersgruppen werden nachfolgend als 6-, 8-, und 10-jährige bezeichnet.

Die Kinder wurden innerhalb von Alter und Geschlecht zufällig einer der drei Protokollvorlagen-Bedingungen zugeteilt. Von den 6-jährigen waren 34 Kinder (19 Jungen, 15 Mädchen) der unstrukturierten Protokollvorlage, 33 Kinder (13 Jungen, 20 Mädchen) der strukturierten Protokollvorlage und 32 Kinder (16 Jungen, 16 Mädchen) den Schablonen zugeordnet. Von den 8-jährigen waren 23 Kinder (10 Jungen, 13 Mädchen) der unstrukturierten Protokollvorlage, 22 Kinder (14 Jungen, 8 Mädchen) der strukturierten Protokollvorlage und 22 Kinder (11 Jungen, 11 Mädchen) den Schablonen zugeordnet. Von den 10-jährigen waren 25 Kinder (12 Jungen, 13 Mädchen) der unstrukturierten Protokollvorlage, 26 Kinder (12 Jungen, 14 Mädchen) der strukturierten Protokollvorlage und 26 Kinder (13 Jungen, 13 Mädchen) den Schablonen zugeordnet.

#### **2.3.1.2 Materialien**

Die Materialien sind identisch mit denen von Studie 1. Im Unterschied zu Studie 1 legten die Kinder die Chips nicht auf eine rote Matte, sondern entweder (a)

auf eine unstrukturierte Protokollvorlage, (b) auf eine strukturierte Protokollvorlage oder (c) auf eine von zwei Schablonen.

**(a)** Die unstrukturierte Protokollvorlage war ein quadratisches Brett (48 cm x 48 cm).

**(b)** Die strukturierte Protokollvorlage war ein quadratisches Brett (48 cm x 48 cm), auf das ein Schachbrettmuster von 16 x 16 Feldern gezeichnet war.

**(c)** Die zwei Schablonen sollten eine kategoriale und eine sequentielle Anordnung der Chips nahe legen:

- Die Schablone, die eine sequentielle Anordnung der Chips nahe legen soll, ist ein Brett (3 cm x 48 cm), auf das 1 x 16 Felder gezeichnet sind **(c1)**. Die Chips können nur horizontal angeordnet werden.
- Die Schablone, die eine kategoriale Anordnung der Chips nahe legen soll, ist ein Brett (9 cm x 30 cm), auf das 3 x 10 Felder gezeichnet sind **(c2)**. Die Chips könnten wie bei einem Balkendiagramm nach Kategorien getrennt in drei Spalten aber auch in anderen Formen angeordnet werden.

Beide Schablonen wurden hinsichtlich ihrer horizontalen und vertikalen Ausrichtung wie in Abbildung 2.5 dargestellt vor die Kinder gelegt. Dabei lag die Schablone, die eine sequentielle Anordnung der Chips nahe legen sollte – ausbalanciert über Alter und Geschlecht – entweder oberhalb oder unterhalb der Schablone, die eine kategoriale Anordnung der Chips nahe legen sollte.

Alle Protokollvorlagen waren außen durch einen schmalen Holzrand (0.5 cm) begrenzt. In jedes der Felder, die auf die strukturierte Protokollvorlage und auf die Schablonen gezeichnet waren, passte genau ein Chip.

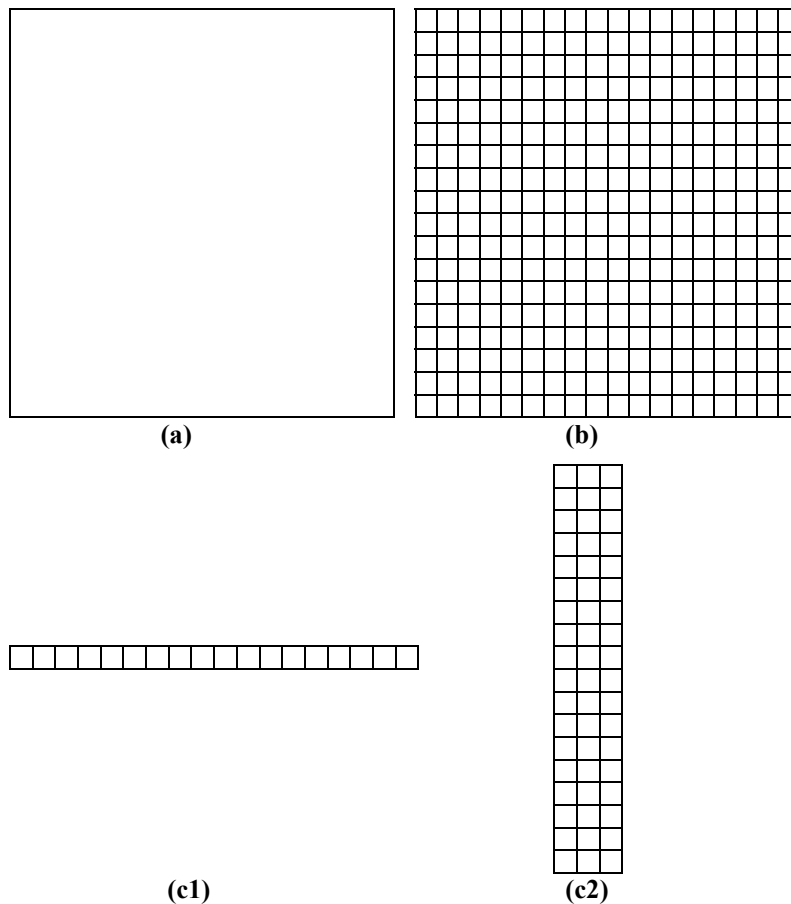


Abbildung 2.5. Verkleinerte Darstellung von (a) unstrukturierter Protokollvorlage, (b) strukturierter Protokollvorlage mit Schachbrettmuster (18 x 18) und den Schablonen, die ein sequentielles (c1) und ein kategoriales (c2) Protokollieren nahe legen sollen. In jedes Quadrat kann ein Chip gelegt werden.

### 2.3.1.3 Versuchsablauf

Die Kinder nahmen an der Studie einzeln in einem separaten Raum des Schulhauses oder des Kindergartens teil. Ein Versuchsdurchgang dauerte etwa 15 Minuten.

*Einleitung in die Rahmengeschichte.* Die Kinder wurden wie in Studie 1 in die Rahmengeschichte mit der Amsel, die ihre drei Jungen füttert, eingeführt. Anschließend sollten sie versuchen, das kategoriale und das sequentielle Problem zu lösen. Die Reihenfolge, in der die Probleme gelöst werden sollten, war innerhalb von Alter und Geschlecht ausbalanciert.

*Darstellung der Probleme.* Die Abfolge, in der die Probleme präsentiert wurden, wird bei der nachfolgenden Darstellung des Ablaufs nicht berücksichtigt. Der

Übergang von einem zum anderen Problem ist mit dem in Studie 1 beschriebenen Übergang identisch.

Die Kinder wurden wie in Studie 1 aufgefordert herauszufinden, „welches von den 3 Jungen bis zum Abendbild *am wenigsten* bekommen hat und deshalb nach dem Abendbild noch einmal gefüttert werden soll“ bzw. „nach welcher *Regel* die Mutter ihre Jungen *nacheinander* füttert und welches Junge nach dem Abendbild gefüttert werden soll“.

Nach der Präsentation des sequentiellen Problems wurde im Unterschied zu Studie 1 eine Kontrollfrage gestellt, mit der die Fähigkeit des Fortsetzens einer regelhaften Abfolge von Ereignissen überprüft werden sollte: „Was könnte eine Regel sein, nach der die Mutter ihre Jungen nacheinander füttert?“ Unabhängig davon, ob die Kinder ein eigenes Beispiel nannten, gab die Versuchsleiterin den Kindern folgendes Beispiel einer Regel: „Beispielsweise könnte die Mutter die drei Jungen nach der Regel füttern: erst das rote, dann das gelbe, dann das blaue, dann wieder rot, gelb, blau, rot, gelb, blau, usw. Welches Junge kommt dann immer nach dem roten?“ Eine korrekte Antwort wurde bestätigt, bei einer falschen Antwort wurde die richtige Lösung genannt. Die Versuchsleiterin wies darauf hin, dass die eigentliche Fütterungsregel unbekannt sei und noch herausgefunden werden müsse.

Wie in Studie 1 wurde erklärt, dass die Kinder Chips legen sollen, um heraus zu finden, „ob die Mutter bis zum Abend ein Junges *weniger oft* gefüttert hat als die anderen“ bzw. um heraus zu finden, „nach welcher *Regel* die Mutter ihre Jungen nacheinander füttert“.

Wie in Studie 1 wurde erläutert, dass die Kinder mit einer Dose eine Kugel bei dem Jungen auffangen sollen, das bis zum „Abendbild“ am wenigsten gefüttert wurde bzw. das nach der Regel nach dem „Abendbild“ als nächstes dran ist. Das Auffangen der Kugel wurde wie in Studie 1 bei dem ersten der zwei präsentierten Probleme demonstriert: „Vielleicht findest Du heraus, dass der blaue Vogel nach dem Abendbild dran ist [auf blauen Vogel über der Röhre zeigen]. Dann musst Du die Dose schnell hier hin stellen“ [Versuchsleiterin stellt Dose unter die Röhre mit blauem Vogel, gibt eine Kugel auf der hinteren Seite des Apparats in die passende Röhre und fängt die Kugel mit der Dose auf].

Anschließend wurde die Aufgabenstellung wiederholt. Erst zu diesem Zeitpunkt wurden die Protokollvorlagen in allen drei Protokollvorlagen-Bedingungen vor die Kinder gelegt.

Bei der unstrukturierten und der strukturierten Protokollvorlage wurde beim kategorialen Problem wie in Studie 1 gesagt: „Lege die Chips so hier drauf, dass Du *gut und schnell* sehen kannst, welches Junge bis zum Abendbild *am wenigsten bekommen* hat. Bei diesem Jungen stellst Du nach dem Abendbild die Dose hin.“ Beim sequentiellen Problem wurde wie in Studie 1 gesagt: „Lege die Chips so hier drauf, dass Du *gut und schnell* sehen kannst, *nach welcher Regel* die Mutter die Jungen *nacheinander* füttert. Bei dem Jungen, das nach dem Abendbild dran ist, stellst Du die Dose hin.“

Bei den Schablonen wurde beim kategorialen Problem gesagt: „Lege die Chips so auf *eines der zwei* Bretter, dass Du *gut und schnell* sehen kannst, welches Junge bis zum Abendbild *am wenigsten bekommen* hat. Bei diesem Jungen stellst Du nach dem Abendbild die Dose hin.“ Und beim sequentiellen Problem wurde bei den Schablonen gesagt: „Lege die Chips so auf *eines der zwei* Bretter, dass Du *gut und schnell* sehen kannst, *nach welcher Regel* die Mutter die Jungen *nacheinander* füttert. Bei dem Jungen, das nach dem Abendbild dran ist, stellst Du die Dose hin.“

*Probearbeiten und Konstruktion.* Anweisungen zum Erstellen von Datenprotokollen wurden bei der unstrukturierten und der strukturierten Protokollvorlage wie in Studie 1 gegeben. In der Schablonen-Bedingung kam hinzu, dass die Kinder sich für eine der Schablonen entscheiden sollten, auf der sie die Chips anordnen wollten. Bei allen drei Protokollvorlagen-Bedingungen wurde beim Probelegen für das sequentielle Problem darauf hingewiesen, dass die Kinder „die Regel von vorhin [Kontrollfrage] nehmen“ können, „also rot, gelb, blau usw.“

## **2.3.2 Ergebnisse**

### **2.3.2.1 Kodierungen**

Die Anordnungen der von den Kindern gelegten Chips wurden wie in Studie 1 als kategorial, sequentiell oder als „Rest“ kategorisiert. Alle Versuchsdurchgänge wurden auf Video aufgenommen. Die Versuchsleiterin kodierte während der Versuchsdurchführung die Antworten der Kinder sowie die Anordnungen der von den Kindern gelegten Chips auf einem Protokollbogen. Eine unabhängige Raterin kodierte auf Grundlage der Videos die Antworten von 15 Kindern. Die Berechnung der Rater-Übereinstimmung bezieht sich auf 7 Antworten (4 Anordnungen von Chips; 3 mündliche Antworten, welche als korrekt oder als nicht korrekt kategorisiert

wurden). Sie wurde berechnet als die Anzahl von Übereinstimmungen zwischen den beiden Ratern geteilt durch die Anzahl von Übereinstimmungen plus der Nicht-Übereinstimmungen. Gemittelt über alle Aufgaben beträgt die Reliabilität .97 ( $\kappa = .96$ ). Unterschiede in der Kodierung zwischen beiden Raterinnen wurden anhand der Videoaufzeichnungen geklärt.

Die Daten wurden gemäß der in Studie 1 beschriebenen Verfahren analysiert.

*Wie ordnen die Kinder die Chips hinsichtlich der Kategorien „kategorial“, „sequentiell“ und „Rest“ an?* Die von den Kindern angeordneten Chips wurden in 97% der Fälle den Kategorien „kategorial“ bzw. „sequentiell“ zugeordnet. Nur 3% der angeordneten Chips wurden als „Rest“ kategorisiert.

*Welche Rolle spielt die Abfolge von kategorialem und sequentiellem Problem (kat-seq oder seq-kat) für die Anordnung der Chips?* Es wird hierbei innerhalb der Altersgruppen verglichen, ob Kinder die Protokolle aufgrund der Problemabfolge (a) differenziert an beide Probleme anpassen, (b) zwei sequentielle Protokolle erstellen oder (c) zwei kategoriale Protokolle erstellen. Bei dieser und den nachfolgenden Analysen werden Kinder, deren Protokollmuster als „sonstig“ klassifiziert wurden (d.h., nur eine der beiden Anordnungen von Chips ist als kategoriales oder als sequentielles Protokoll identifizierbar), nicht berücksichtigt.

Bei den 6-jährigen unterscheiden sich die Häufigkeiten verschiedener Anpassungen der Chips an die Probleme zwischen den beiden Problemabfolgen signifikant ( $\chi^2(2, N = 85) = 6.56, p < .05$ ). Dieser Unterschied ist darauf zurückzuführen, dass einige 6-jährigen bei der Problemabfolge kat-seq ( $n=9$ ) die Protokolle häufiger differenziert an beide Probleme anpassten als bei der Problemabfolge seq-kat ( $n=1$ ).

Bei den 8-jährigen unterscheiden sich die Häufigkeiten unterschiedlicher Formen der Anordnung von Chips zwischen den zwei Problemabfolgen signifikant ( $\chi^2(2, N = 65) = 13.55, p < .001$ ). Die 8-jährigen passten die Protokolle bei der Problemabfolge kat-seq ( $n=13$ ) etwas häufiger an beide Probleme an als bei der Problemabfolge seq-kat ( $n=7$ ). Bei der Problemabfolge seq-kat ( $n=21$ ) erstellten die 8-jährigen häufiger zweimalig ein sequentielles Protokoll als bei der Problemabfolge kat-seq ( $n=7$ ). Bei der Problemabfolge kat-seq ( $n=13$ ) erstellten die 8-jährigen häufiger zweimalig ein kategoriales Protokoll als bei der Problemabfolge seq-kat ( $n=4$ ).



Auch bei den 10-jährigen unterscheiden sich die Häufigkeiten unterschiedlicher Formen der Anordnung von Chips zwischen den zwei Problemabfolgen signifikant ( $\chi^2(2, N = 76) = 10.03, p < .01$ ). Die 10-jährigen passten die Protokolle bei der Problemabfolge kat-seq (n=22) etwas häufiger an beide Probleme an als bei der Problemabfolge seq-kat (n=15). Bei der Problemabfolge seq-kat erstellten die 10-jährigen häufiger zweimalig ein sequentielles Protokoll (n=14) als bei der Problemabfolge kat-seq (n=3). Bei der Problemabfolge kat-seq erstellten die 10-jährigen häufiger zweimalig ein kategoriales Protokoll (n=14) als bei der Problemabfolge seq-kat (n=8).

*Zusammengefasst* scheinen einige 8- und 10-jährige dazu zu neigen, ein beim sequentiellen Problem erstelltes sequentielles Protokoll auf das nachfolgende kategoriale Problem zu übertragen, und ein beim kategorialen Problem erstelltes kategoriales Protokoll auf das nachfolgende sequentielle Problem zu übertragen.

Bei der Problemabfolge kat-seq passen 6-, 8- und 10-jährige die Chips häufiger an beide Probleme an als bei der Problemabfolge seq-kat. Möglicherweise fällt es den Kindern leichter, ausgehend von einem kategorialen Protokoll ein anderes Protokoll zu entwickeln als ausgehend von einem sequentiellen Protokoll. Dies wäre aus sachlichen Gründen nachvollziehbar, da in einem sequentiellen Protokoll sowohl kategoriale als auch sequentielle Informationen enthalten sind; in einem kategorialen Protokoll hingegen sind nur kategoriale Informationen enthalten.

Die Rolle der Problemabfolgen für die Anordnung der Chips soll bei den nachfolgenden Analysen nicht berücksichtigt werden. Bei diesen Analysen werden in einem ersten Schritt – vergleichbar zu dem Vorgehen in Studie 1 – Altersunterschiede in der Anpassung der externen Repräsentationen an die Probleme betrachtet. In einem zweiten Schritt wird der Zusammenhang zwischen den verschiedenen Protokollvorlagen und den Anordnungen der Chips bzw. den Urteilen der Kinder analysiert, zunächst über alle Altersgruppen hinweg und nachfolgend innerhalb jeder Altersgruppe.

#### 2.3.2.2 Anordnung von Chips ohne Berücksichtigung der Protokollvorlagen

*Verstehen Kinder die Kontrollfrage zu dem sequentiellen Problem?* Das Beispiel einer regelhaften Sequenz setzten 76% der 6-jährigen, 96% der 8-jährigen und 94% der 10-jährigen korrekt fort. Zwar ist der Altersunterschied signifikant ( $\chi^2(2, N = 243) = 18.04, p < .001$ ), doch werden Kinder mit falschen Antworten aus den nach-

folgenden Analysen nicht ausgeschlossen, da ihre Antwort von der Versuchsleiterin korrigiert wurde (siehe S. 81). Zudem ordneten von den 32 Kindern mit falschen Antworten auf die Kontrollfrage 13 Kinder die Chips zweimalig sequentiell an, 10 Kinder ordneten die Chips zweimalig kategorial an und 2 Kinder passten die Struktur der Chips differenziert an die Problemstrukturen an. Nur 7 der 32 Kinder erstellten Anordnungen, die als „sonstig“ kategorisiert wurden.

*Wie ordnen Kinder die Chips zur Lösung der zwei Probleme an?* In Tabelle 2.7 und in Abbildung 2.6 ist der Anteil an Kindern für jede Altersgruppe aufgeführt, die (a) angepasst an die Probleme ein kategoriales und ein sequentielles Protokoll erstellten, (b) zwei sequentielle Protokolle erstellten, (c) zwei kategoriale Protokolle erstellten und (d) maximal ein sinnvolles Protokoll erstellten (Kategorie „sonstig“). Die Anzahl an Kindern, die ihre Protokolle an beide Probleme anpassten, zwei sequentielle oder zwei kategoriale Protokolle erstellten, unterscheidet sich zwischen den Altersgruppen signifikant ( $\chi^2(4, N = 243) = 29.8, p < .001$ ).

Tabelle 2.7

*Anteil der Kinder aus jeder Altersgruppe, die (a) angepasst an die Probleme ein kategoriales und ein sequentielles Protokoll erstellen, (b) zwei sequentielle Protokolle erstellen, (c) zwei kategoriale Protokolle erstellen, (d) maximal ein sinnvolles Protokoll erstellen*

	6-jährige	8-jährige	10-jährige
	<i>n</i> (%)	<i>n</i> (%)	<i>n</i> (%)
seq. und kat. Protokoll, die an die Probleme angepasst sind	10 (10)	20 (30)	37 (48)
zwei sequentielle Protokolle	35 (35)	28 (42)	17 (22)
zwei kategoriale Protokolle	40 (41)	17 (25)	22 (29)
max. ein sinnvolles Protokoll	14 (14)	2 (3)	1 (1)

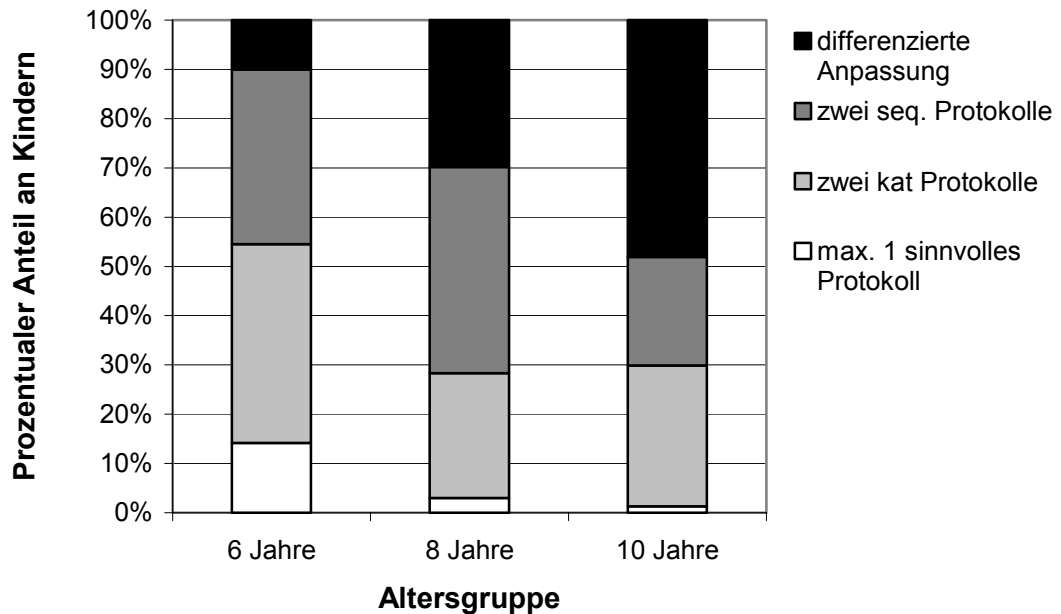


Abbildung 2.6. Prozentualer Anteil der Kinder, die (a) angepasst an die Probleme ein kategoriales und ein sequentielles Protokoll erstellen, (b) zwei sequentielle Protokolle erstellen, (c) zwei kategoriale Protokolle erstellen, (d) maximal ein sinnvolles Protokoll erstellen.

*Wie adaptiv passen Kinder ihre Protokolle an die Struktur beider Probleme an?* Die Kinder sollten die Chips so anordnen, dass sie beide Probleme effizient und ökonomisch lösen können. Das heißt, das Arrangement der Chips sollte differenziert an die Strukturen beider Probleme angepasst werden. Bei der nachfolgenden Analyse interessiert daher, wie viele Kinder aus jeder Altersgruppe die Protokolle an beide Probleme oder nur an ein Problem anpassten. Nur wenige der 6-jährigen (10%) und der 8-jährigen (30%) passten die Protokolle an beide Probleme an, wohingegen nahezu die Hälfte der 10-jährigen (48%) differenziert anpassten ( $\chi^2(2, N = 243) = 25.64, p < .001$ ).

*Erstellen Kinder Protokolle, mit denen sie ein Problem oder beide Probleme lösen können?* Bei dieser Analyse sind Kinder zusammengefasst, die mit ihren Protokollen prinzipiell beide Probleme lösen können (differenzierte Anpassung sowie zweimalig sequentielles Protokoll). Diese Gruppe wird verglichen mit den Kindern, die zweimalig ein kategoriales Protokoll erstellten. Von den 6-jährigen erstellten 45%, von den 8-jährigen 72% und von den 10-jährigen 70% der Kinder Protokolle, mit denen beide Probleme gelöst werden können ( $\chi^2(2, N = 243) = 8.89, p < .05$ ). Die Anteile an Kindern bei den 6- und 8-jährigen, die Protokolle erstellten, mit denen beide Probleme gelöst werden können, sind etwas höher als in Studie 1. Dieser

Unterschied ist möglicherweise auf die Verwendung der unterschiedlichen Protokollvorlagen zurück zu führen (s.u.).

*Wie hängt die unterschiedliche Eignung der Protokolle für die Lösung beider Probleme mit den tatsächlichen Lösungshäufigkeiten zusammen?* Das kategoriale Problem wurde von Kindern mit einem sequentiellen Protokoll (75%) und von Kindern mit einem kategorialen Protokoll (98%) nahezu gleich häufig gelöst. Hingegen wurde das sequentielle Problem von Kindern mit einem sequentiellen Protokoll (76%) häufiger gelöst als von Kindern mit einem kategorialen Protokoll (30%), ( $\chi^2(1, N = 243) = 46.72, p < .001$ ).

*Wie häufig lösen die Kinder das kategoriale und das sequentielle Problem?* In Tabelle 2.8 ist aufgeführt, wie viele Kinder aus jeder Altersgruppe das kategoriale und das sequentielle Problem korrekt lösten. Das kategoriale Problem wurde von den meisten Kindern korrekt gelöst. Beim sequentiellen Problem hingegen gibt es vergleichbar zu Studie 1 deutliche Altersunterschiede in der Anzahl der Kinder, die die Regel korrekt fortsetzten ( $\chi^2(2, N = 243) = 67.36, p < .001$ ). Von den 8- und 10-jährigen setzten mehr Kinder die Regel korrekt fort als von den 6-jährigen ( $\chi^2(1, N = 166) = 42.3, p < .001$ ;  $\chi^2(1, N = 176) = 51, p < .001$ ). Dieser Unterschied in der Lösungshäufigkeit beim sequentiellen Problem ist mit der unterschiedlichen Zahl erstellter Protokolle, mit denen beide Probleme gelöst werden können, zu erklären (s.o.).

Tabelle 2.8

*Anzahl an Kindern, die das kategoriale Problem und Anteil an Kindern, die das sequentielle Problem korrekt lösen (unabhängig von der Anordnung der Chips)*

	6-jährige	8-jährige	10-jährige
	<i>n (%)</i>	<i>n (%)</i>	<i>n (%)</i>
korrekte Lösung von kategorialem Problem	77 (78)	60 (90)	77 (100)
korrekte Lösung von sequentiellem Problem	26 (26)	52 (78)	62 (81)

### 2.3.2.3 Zum Zusammenhang von Protokollvorlagen mit den Anordnungen der Chips

*Ordnen Kinder die Chips in Abhängigkeit von den drei Protokollvorlagen verschieden an?* In Tabelle 2.9 und in Abbildung 2.7 ist aufgeführt, wie viele Kinder in Abhängigkeit von den Protokollvorlagen die Chips differenziert an beide Probleme, nur an das sequentielle Problem, nur an das kategoriale Problem oder an keines der zwei Probleme anpassten. Zwischen den drei Protokollvorlagen unterscheiden sich die Formen der Anpassung an die Probleme signifikant ( $\chi^2(4, N = 243) = 26.67, p < .001$ ).

Mit der unstrukturierten Protokollvorlage erstellten die Kinder häufiger zweimalig ein kategoriales Protokoll als mit der strukturierten Protokollvorlage ( $\chi^2(1, N = 154) = 4.7, p < .05$ ) und als mit den Schablonen ( $\chi^2(1, N = 152) = 23.11, p < .001$ ).

Mit den Schablonen erstellten die Kinder häufiger zweimalig sequentielle Protokolle als mit der unstrukturierten Protokollvorlage ( $\chi^2(1, N = 152) = 9.11, p < .01$ ) und als mit der strukturierten Protokollvorlage ( $\chi^2(1, N = 146) = 8.07, p < .01$ ).

Mit den Schablonen und der strukturierten Protokollvorlage passten die Kinder die Anordnung der Chips häufiger an beide Probleme an als mit der unstrukturierten Protokollvorlage ( $\chi^2(1, N = 156) = 4.15, p < .05$ ;  $\chi^2(1, N = 158) = 6.04, p < .05$ ).

Die Kinder scheinen demnach die jeweilige Einschränkung der Protokollvorlagen für die Anordnung der Chips zu berücksichtigen. Möglicherweise tendieren Kinder bei der wenig eingeschränkten, unstrukturierten Protokollvorlage dazu, einfachere Protokollformen wie das kategoriale Protokoll zu erstellen. Die strukturierte Protokollvorlage und besonders die Schablonen scheinen Kindern nahe zu legen, häufig zweimalig ein sequentielles Protokoll zu erstellen sowie die Protokolle differenziert an beide Probleme anzupassen.

Tabelle 2.9

Anteil der Kinder, die in Abhängigkeit von der Protokollvorlage (a) angepasst an die Probleme ein kategoriales und ein sequentielles Protokoll erstellen, (b) zwei sequentielle Protokolle erstellen, (c) zwei kategoriale Protokolle erstellen, (d) maximal ein sinnvolles Protokoll erstellen

	unstrukturierte Protokollvorlage <i>n</i> (%)	strukturierte Protokollvorlage <i>n</i> (%)	Schablonen <i>n</i> (%)
seq. und kat. Protokoll, die an die Probleme angepasst sind	16 (20)	27 (33)	24 (30)
zwei sequentielle Protokolle	22 (27)	21 (26)	37 (46)
zwei kategoriale Protokolle	42 (51)	26 (32)	11 (14)
max. ein sinnvolles Protokoll	2 ( 2)	7 ( 9)	8 (10)

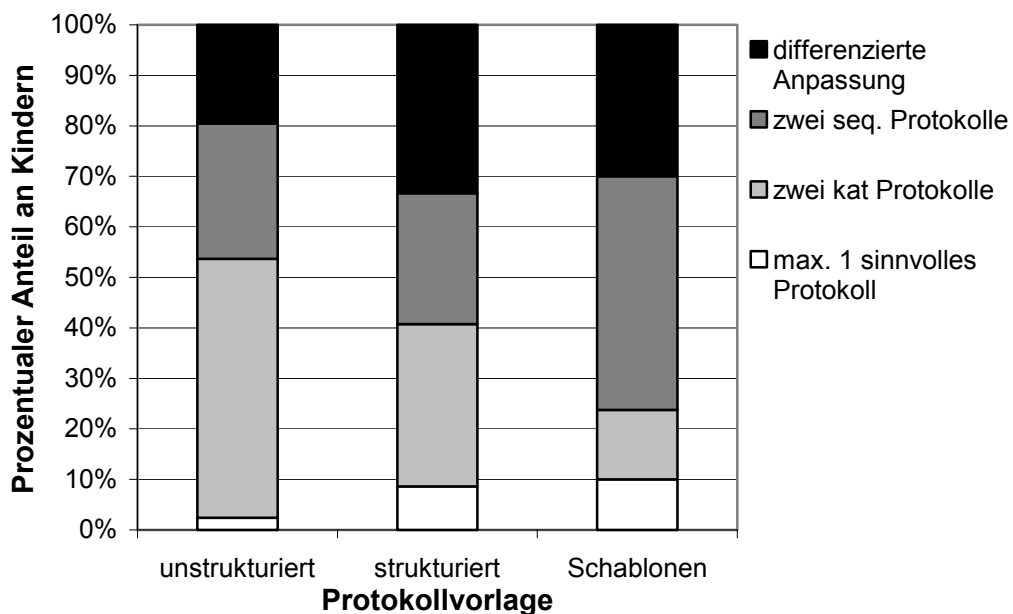


Abbildung 2.7. Prozentualer Anteil der Kinder, die in Abhängigkeit von der Protokollvorlage (a) angepasst an die Probleme ein kategoriales und ein sequentielles Protokoll erstellen, (b) zwei sequentielle Protokolle erstellen, (c) zwei kategoriale Protokolle erstellen, (d) maximal ein sinnvolles Protokoll erstellen.

Welche Rolle spielen die Protokollvorlagen für das Erstellen von Protokollen, mit denen beide Probleme gelöst werden können (differenzierte Anpassung sowie zweimalig sequentielles Protokoll) und mit denen nur das kategoriale Problem (zweimalig kategoriales Protokoll) gelöst werden kann? Sowohl der Effekt für das Alter ( $\chi^2(2, N = 243) = 8.89, p < .05$ ) als auch der Effekt für die Protokollvorlagen ( $\chi^2(2, N = 243) = 23.09, p < .001$ ) werden signifikant. Protokolle, mit denen beide Probleme gelöst werden können, erstellten 48% der Kinder in der Bedingung mit der unstrukturierten Protokollvorlage, 65% der Kinder in der Bedingung mit der struktu-

rierten Protokollvorlage und 85% der Kinder in der Schablonenbedingung. Dieser Effekt der zunehmenden Einschränkung der Protokollvorlage auf die Häufigkeit des Erstellens von Protokollen, mit denen beide Probleme gelöst werden können, ist in Abbildung 2.8 ersichtlich. In die in der Abbildung dargestellten Mittelwerte gehen folgende zwei Werte ein: Protokolle, die differenziert an beide Probleme angepasst waren und mit denen beide Probleme gelöst werden können, wurde der Wert 2 zugewiesen. Protokollen, mit denen nur das kategoriale Problem gelöst werden kann, wurde der Wert 1 zugewiesen.

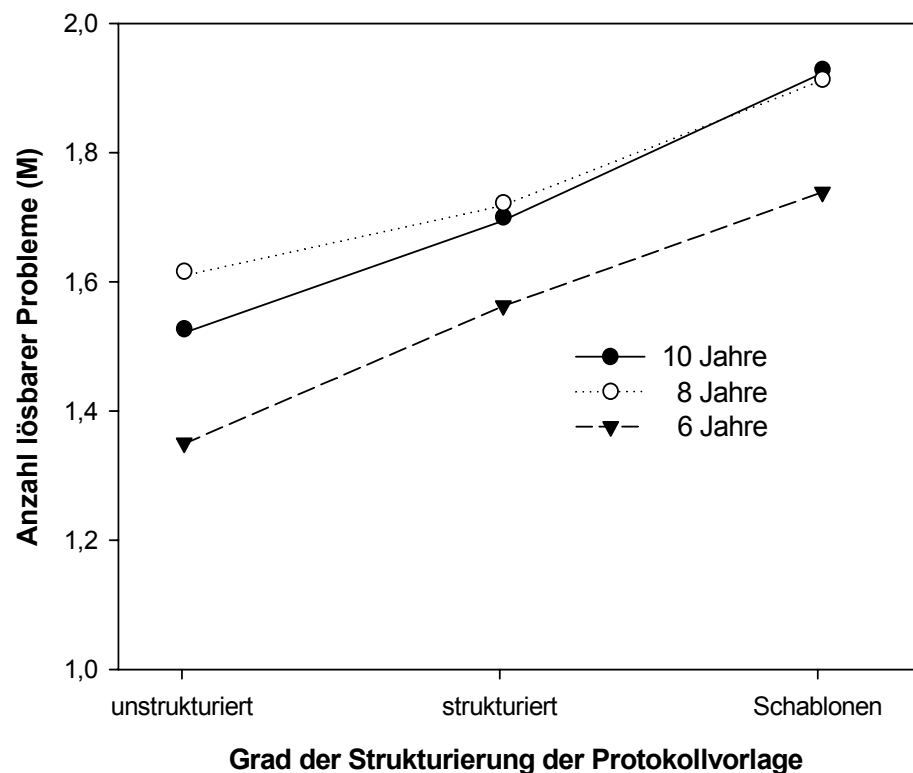


Abbildung 2.8. Mittelwerte für die zwei erstellten Protokolle, mit denen nur ein Problem gelöst werden kann (Zuordnung des Codes „1“) und mit denen beide Probleme gelöst werden können (Zuordnung des Codes „2“) für jede Altersgruppe in Abhängigkeit von der verwendeten Protokollvorlage.

Kinder aller Altersgruppen scheinen von den Einschränkungen der Protokollvorlagen zu profitieren, indem sie mit zunehmender Einschränkung zunehmend häufiger Protokolle erstellen, mit denen beide Probleme gelöst werden können. Der Anteil an Kindern, die mit ihren Protokollen beide Probleme lösten, ist bei den 6-jährigen in der Schablonenbedingung (62%) vergleichbar mit den Anteilen bei den 8- und 10-jährigen in der Bedingung mit der unstrukturierten Protokollvorlage (62% bzw. 52%).

*Lösen die Kinder die Probleme in Abhängigkeit von den verwendeten Protokollvorlagen verschieden häufig?* Das kategoriale Problem wurde mit der unstrukturierten Protokollvorlage (89%), der strukturierten Protokollvorlage (86%) und den Schablonen (89%) nahezu gleich häufig korrekt gelöst. Das sequentielle Problem wurde mit der strukturierten Protokollvorlage (62%) und den Schablonen (63%) etwas häufiger korrekt gelöst als mit der unstrukturierten Protokollvorlage (49%).

*Welche Schablonen wählen die Kinder zur Lösung der Probleme?* Es interessiert, ob die Kinder in der Schablonen-Bedingung die Schablonen entsprechend ihrer vermuteten Eignung wählen oder ob sie andere Wahlen treffen. Bei einer zufälligen Wahl der Schablonen sollten 25% der Kinder beim kategorialen Problem die kategoriale Schablone *und* beim sequentiellen Problem die sequentielle Schablone wählen. Von den 6-jährigen wählten 28%, von den 8-jährigen 32% und von den 10-jährigen 46% der Kinder beim kategorialen Problem die kategoriale Schablone und beim sequentiellen Problem die sequentielle Schablone. Nur der Anteil bei den 10-jährigen ist signifikant verschieden von einer zufälligen Wahl der Schablonen (Binomialtest,  $p < .05$ ).

*Passen die Kinder die Struktur der Chips in Abhängigkeit von ihrer Schablonenwahl unterschiedlich an die Probleme an?* Kinder, die die Schablonen angepasst an die jeweiligen Probleme gewählt haben, passten die Struktur der Chips häufiger differenziert an beide Probleme an (64%) als Kinder, die die Schablonen in anderen Kombinationen gewählt haben (12%), ( $\chi^2(1, N = 80) = 24.11, p < .001$ ).

#### 2.3.2.4 Anordnung der Chips in Abhängigkeit von der jeweiligen Protokollvorlage innerhalb jeder Altersgruppe

*Ordnen die 6-jährigen Kinder die Chips in Abhängigkeit von den Protokollvorlagen unterschiedlich an?* Zwischen den drei Protokollvorlagen unterscheiden sich die Formen der Anordnung von Chips signifikant ( $\chi^2(4, N = 85) = 10.55, p < .05^{11}$ ). Die 6-jährigen erstellten mit der unstrukturierten Protokollvorlage häufiger zweimalig ein kategoriales Protokoll als mit der strukturierten Protokollvorlage und

---

<sup>11</sup> Obwohl 3 Zellen (33%) eine erwartete Häufigkeit kleiner als 5 haben, wird der Pearson- $\chi^2$ -Test beibehalten und nicht auf Craddock-Floods approximierten  $\chi^2$ -Test ausgewichen (Bortz, Lienert, & Boehnke, 1990).



als mit den Schablonen (Fisher's exact test,  $p > .05$ ,  $\chi^2(1, N = 58) = 7.12$ ,  $p < .01$ <sup>12</sup>). Die 6-jährigen erstellten mit den Schablonen häufiger zweimalig ein sequentielles Protokoll als mit der strukturierten Protokollvorlage und als mit der unstrukturierten Protokollvorlage ( $\chi^2(1, N = 53) = 2.28$ ,  $p > .05$ ;  $\chi^2(1, N = 58) = 5.24$ ,  $p < .05$ <sup>13</sup>).

Der Grad an Anpassung der Protokolle (einmalig versus zweimalig) an die zwei Probleme unterscheidet sich zwischen den drei Protokollvorlagen nicht signifikant ( $\chi^2(2, N = 85) = 2.13$ ,  $p > .05$ ).

Tabelle 2.10

*Anteil der 6-jährigen, die in Abhängigkeit von der Protokollvorlage (a) angepasst an die Probleme ein kategoriales und ein sequentielles Protokoll erstellen, (b) zwei sequentielle Protokolle erstellen, (c) zwei kategoriale Protokolle erstellen, (d) maximal ein sinnvolles Protokoll erstellen*

	unstrukturierte Protokollvorlage <i>n</i> (%)	strukturierte Protokollvorlage <i>n</i> (%)	Schablonen <i>n</i> (%)
seq. und kat. Protokoll, die an die Probleme angepasst sind	2 (5.5)	5 (16)	3 (9)
zwei sequentielle Protokolle	9 (27)	10 (30)	16 (50)
zwei kategoriale Protokolle	21 (62)	12 (36)	7 (23)
max. ein sinnvolles Protokoll	2 (5.5)	6 (18)	6 (18)

<sup>12</sup>  $\chi^2$ -Wert ist korrigiert nach Yates.

<sup>13</sup>  $\chi^2$ -Werte sind korrigiert nach Yates.

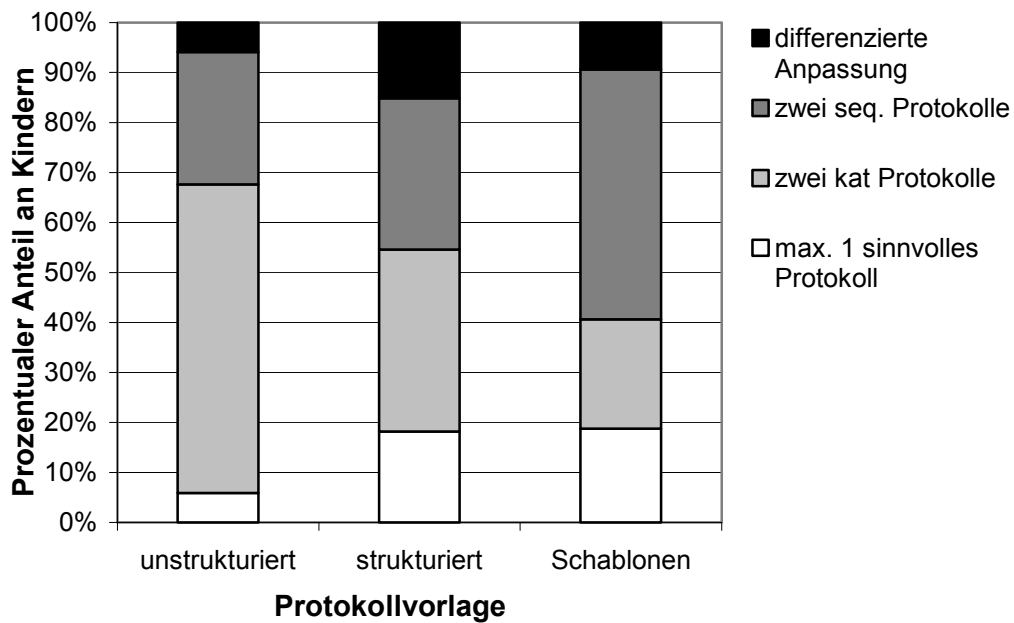


Abbildung 2.9. Prozentualer Anteil der 6-jährigen, die in Abhängigkeit von der Protokollvorlage (a) angepasst an die Probleme ein kategoriales und ein sequentielles Protokoll erstellen, (b) zwei sequentielle Protokolle erstellen, (c) zwei kategoriale Protokolle erstellen, (d) maximal ein sinnvolles Protokoll erstellen.

Aus Abbildung 2.9 wird ersichtlich, dass die 6-jährigen in Abhängigkeit von der Protokollvorlage unterschiedlich häufig Protokolle erstellen, mit denen *beide Probleme* (differenzierte Anpassung sowie zweimalig sequentielles Protokoll) gelöst werden können oder mit denen nur ein Problem gelöst werden kann ( $\chi^2(2, N = 85) = 8.73, p < .05$ ). Mit Schablonen (59% der Kinder in der Schablonen-Bedingung) und mit einer strukturierten Protokollvorlage (46% der Kinder in der Bedingung mit strukturierter Protokollvorlage) ordneten die Kinder die Chips häufiger so an, dass damit beide Probleme gelöst werden können als mit einer unstrukturierten Protokollvorlage (32.5% der Kinder mit unstrukturierter Protokollvorlage).

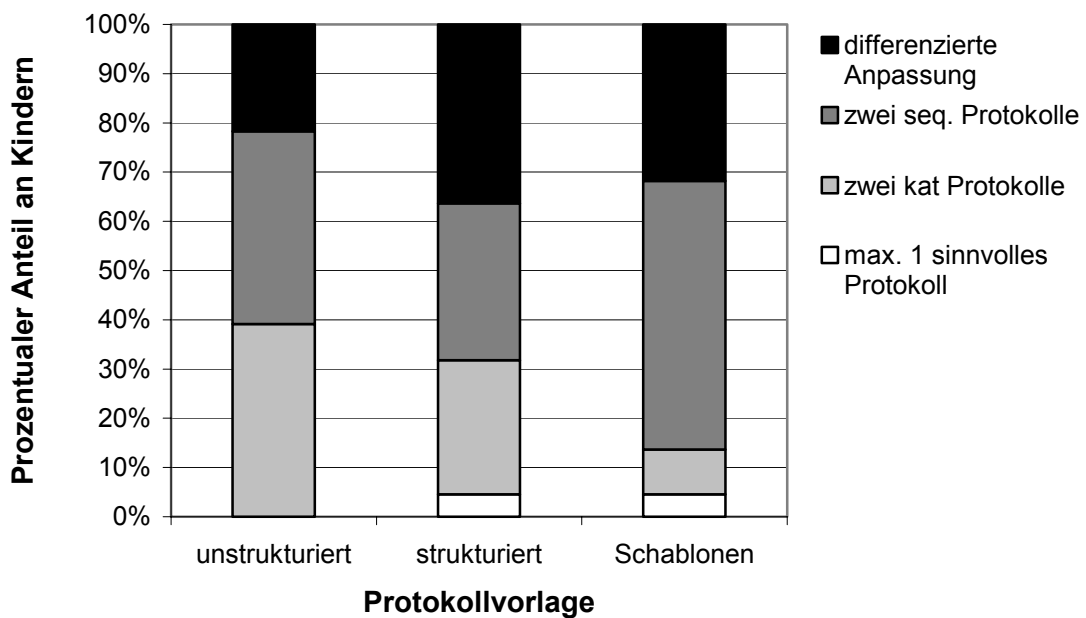
*Lösen die 6-jährigen die Probleme in Abhängigkeit von den Protokollvorlagen verschieden häufig?* Das kategoriale Problem wurde mit der unstrukturierten Protokollvorlage (82%), der strukturieren Protokollvorlage (70%) und den Schablonen (81%) nahezu gleich häufig gelöst. Auch das sequentielle Problem wurde mit der unstrukturierten Protokollvorlage (18%), mit der strukturieren Protokollvorlage (36%) und mit den Schablonen (25%) etwa gleich häufig gelöst.

*Ordnen die 8-jährigen Kinder die Chips in Abhängigkeit von den Protokollvorlagen unterschiedlich an?* Die Anordnungen von Chips unterscheiden sich bei den 8-jährigen zwischen den drei Protokollvorlagen nicht signifikant ( $\chi^2(4, N = 65) = 6.28, p > .05$ ). Auch der Grad an Anpassung (zweimalig versus einmalig) der Protokolle an die zwei Probleme unterscheidet sich zwischen den drei Protokollvorlagen nicht signifikant ( $\chi^2(2, N = 65) = 1.47, p > .05$ ).

Tabelle 2.11

*Anteil der 8-jährigen, die in Abhängigkeit von der Protokollvorlage (a) angepasst an die Probleme ein kategoriales und ein sequentielles Protokoll erstellen, (b) zwei sequentielle Protokolle erstellen, (c) zwei kategoriale Protokolle erstellen, (d) maximal ein sinnvolles Protokoll erstellen*

	unstrukturierte Protokollvorlage <i>n</i> (%)	strukturierte Protokollvorlage <i>n</i> (%)	Schablonen <i>n</i> (%)
seq. und kat. Protokoll, die an die Probleme angepasst sind	5 (22)	8 (36)	7 (32)
zwei sequentielle Protokolle	9 (39)	7 (32)	12 (55)
zwei kategoriale Protokolle	9 (39)	6 (27)	2 ( 9)
max. ein sinnvolles Protokoll	--- ---	1 ( 5)	1 ( 4)



*Abbildung 2.10. Prozentualer Anteil der 8-jährigen, die in Abhängigkeit von der Protokollvorlage (a) angepasst an die Probleme ein kategoriales und ein sequentielles Protokoll erstellen, (b) zwei sequentielle Protokolle erstellen, (c) zwei kategoriale Protokolle erstellen, (d) maximal ein sinnvolles Protokoll erstellen.*

Die 8-jährigen erstellten mit der unstrukturierten Protokollvorlage häufiger zweimalig ein kategoriales Protokoll als mit der strukturierten Protokollvorlage und als mit den Schablonen (Fisher's exact test,  $p > .05$ ;  $p < .05$ ).

Vergleichbar zu den 6-jährigen erstellten die 8-jährigen in Abhängigkeit von der Protokollvorlage unterschiedlich häufig Protokolle, mit denen *beide Probleme* (differenzierte Anpassung sowie zweimalig sequentielles Protokoll) gelöst werden können oder nur ein Problem gelöst werden kann, doch ist dieser Unterschied nicht signifikant, ( $\chi^2(2, N = 65) = 5.08, p > .05$ ). Mit Schablonen (87%) ordneten die Kinder die Chips häufiger so an, dass damit beide Probleme gelöst werden können als mit einer unstrukturierten Protokollvorlage (61%) und als mit einer strukturierten Protokollvorlage (68%). Nur der Unterschied zwischen den Schablonen und der unstrukturierten Protokollvorlage ist signifikant ( $\chi^2(1, N = 44) = 3.67, p < .05^{14}$ ).

*Lösen die 8-jährigen die Probleme in Abhängigkeit von den Protokollvorlagen verschieden häufig?* Das kategoriale Problem wird mit der unstrukturierten Protokollvorlage (87%), der strukturieren Protokollvorlage (96%) und den Schablonen (86%) nahezu gleich häufig gelöst. Das sequentielle Problem wird mit der unstrukturierten Protokollvorlage (61%), der strukturieren Protokollvorlage (82%) und den Schablonen (91%) verschieden häufig gelöst ( $\chi^2(2, N = 67) = 6.17, p < .05^{15}$ ).

*Ordnen die 10-jährigen Kinder die Chips in Abhängigkeit von den Protokollvorlagen unterschiedlich an?* Bei den 10-jährigen unterscheiden sich die Formen der Anordnung von Chips zwischen den drei Protokollvorlagen signifikant ( $\chi^2(4, N = 76) = 11.29, p < .05$ ). Mit der unstrukturierten und der strukturierten Protokollvorlage erstellten die Kinder häufiger zweimalig ein kategoriales Protokoll als mit den Schablonen ( $\chi^2(1, N = 51) = 2.87, p > .05$ ;  $\chi^2(1, N = 50) = 8.04, p < .01^{16}$ ). Mit den Schablonen erstellten die Kinder häufiger zweimalig ein sequentielles Protokoll als mit der unstrukturierten Protokollvorlage und mit der strukturierten Protokollvorlage ( $\chi^2(1, N = 50) = 1.66, p > .05$ ;  $\chi^2(1, N = 51) = 2.85, p > .05^{17}$ ). Kinder mit der strukturierten Protokollvorlage und mit Schablonen passten die Anordnung der Chips etwas

---

<sup>14</sup>  $\chi^2$ -Wert ist korrigiert nach Yates.

<sup>15</sup> Allerdings ist zu berücksichtigen, dass 2 Zellen (33%) eine erwartete Häufigkeit kleiner als 5 haben.

<sup>16</sup>  $\chi^2$ -Werte sind korrigiert nach Yates.

<sup>17</sup>  $\chi^2$ -Werte sind korrigiert nach Yates.

häufiger an beide Probleme an als Kinder mit der unstrukturierten Protokollvorlage ( $\chi^2(1, N = 51) = .32, p > .05$ ;  $\chi^2(1, N = 50) = 1.29, p > .05^{18}$ ).

Der Grad an Anpassung (zweimalig versus einmalig) der Protokolle an die zwei Probleme unterscheidet sich zwischen den drei Protokollvorlagen nicht signifikant ( $\chi^2(2, N = 77) = 2.15, p > .05$ ).

Tabelle 2.12

*Anteil der 10-jährigen, die in Abhängigkeit von der Protokollvorlage (a) angepasst an die Probleme ein kategoriales und ein sequentielles Protokoll erstellen, (b) zwei sequentielle Protokolle erstellen, (c) zwei kategoriale Protokolle erstellen, (d) maximal ein sinnvolles Protokoll erstellen*

	unstrukturierte Protokollvorlage n (%)	strukturierte Protokollvorlage n (%)	Schablonen n (%)
seq. und kat. Protokoll, die an die Probleme angepasst sind	9 (36)	14 (54)	14 (54)
zwei sequentielle Protokolle	4 (16)	4 (15)	9 (35)
zwei kategoriale Protokolle	12 (48)	8 (31)	2 (7.5)
max. ein sinnvolles Protokoll	1 ( 1)	--- ---	1 (3.5)

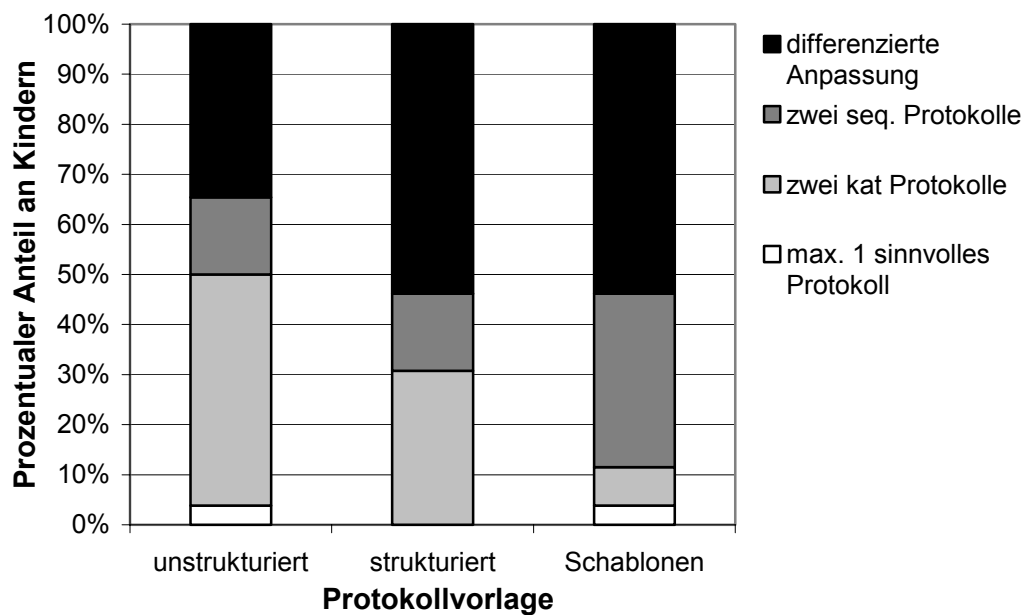


Abbildung 2.11. Prozentualer Anteil der 10-jährigen, die in Abhängigkeit von der Protokollvorlage (a) angepasst an die Probleme ein kategoriales und ein sequentielles Protokoll erstellen, (b) zwei sequentielle Protokolle erstellen, (c) zwei kategoriale Protokolle erstellen, (d) maximal ein sinnvolles Protokoll erstellen.

<sup>18</sup>  $\chi^2$ -Werte sind korrigiert nach Yates.

Vergleichbar zu den 6- und 8-jährigen Kindern erstellten die 10-jährigen Kinder in Abhängigkeit von den Protokollvorlagen unterschiedlich häufig Protokolle, mit denen *beide Probleme* (differenzierte Anpassung sowie zweimalig sequentielles Protokoll) gelöst werden können oder nur ein Problem gelöst werden kann ( $\chi^2(2, N = 76) = 9.79, p < .01$ ). Mit Schablonen (89%) und mit einer strukturierten Protokollvorlage (69%) ordneten die Kinder die Chips häufiger so an, dass damit beide Probleme gelöst werden können als mit einer unstrukturierten Protokollvorlage (52%).

*Lösen die 10-jährigen die Probleme in Abhängigkeit von den Protokollvorlagen verschieden häufig?* Alle 10-jährigen lösten das kategoriale Problem. Das sequentielle Problem wurde von Kindern in der Bedingung mit der unstrukturierten Protokollvorlage (80%), in der Bedingung mit der strukturierten Protokollvorlage (77%) und in der Bedingung mit den Schablonen (85%) nahezu gleich häufig gelöst.

### 2.3.3 Diskussion

Wie in Studie 1 lassen sich nahezu alle der von den Kindern erstellten Anordnungen der Chips als kategorial oder als sequentiell klassifizieren. Vergleichbar zu Studie 1 passen ältere Kinder die räumliche Struktur der Protokolle häufiger differenziert an die konzeptuelle Struktur beider Probleme an als jüngere Kinder.

Durch die mündliche Präsentation einer Regel, die die Kinder fortsetzen sollten, schienen die meisten Kinder vor der Konstruktion der Protokolle eine zutreffende Idee von einer „Regel“ gehabt zu haben. Daher ist anzunehmen, dass die Kinder die kategoriale und die sequentielle Aufgabe sowie Unterschiede zwischen beiden Aufgaben verstanden haben. Es ist allerdings möglich, dass einige Kinder trotz einer korrekten Fortsetzung des vorgegebenen Regelmodells die Idee einer Regel nicht auf die Bearbeitung des sequentiellen Problems übertragen konnten.

In Studie 1 ordneten viele Kinder vorgegebene Protokolle einem kategorialen und einem sequentiellen Problem häufig korrekt zu. Sie konstruierten jedoch weniger häufig Protokolle, die optimal zur Lösung eines kategorialen und eines sequentiellen Problems geeignet waren. Eine Hypothese für diesen Unterschied war die unterschiedlich starke Einschränkung des externen Repräsentationsraums (also möglichen Anordnungen von Chips zur Lösung des Problems) bei der Zuordnungs- und bei der Konstruktionsaufgabe: Besonders jüngeren Kindern scheint es schwer zu fallen, den

offenen Repräsentationsraum zu überblicken und flexibel verschiedene Protokolle zu erstellen, die an beide Probleme angepasst sind. Der externe Repräsentationsraum war in Studie 1 entweder offen (Konstruktionsaufgabe) oder in Studien 1 (Zuordnungsaufgabe) und 2 (Erstellen eines Protokolls nach Auseinandersetzung mit Beispielen von einem kategorialen und einem sequentiellen Protokoll) stark eingeschränkt. Daher wurde in der vorliegenden Studie versucht, den externen Repräsentationsraum durch verschieden strukturierte Protokollvorlagen stufenweise einzuschränken. Es interessierte, ob und wie Kinder unterschiedlichen Alters bei der Konstruktion von Protokollen auf die verschieden stark eingeschränkten Protokollvorlagen reagieren.

Kinder aller Altersgruppen reagierten auf die drei Protokollvorlagen mit unterschiedlichen Anordnungen von Chips. Die unterschiedliche Berücksichtigung der drei Protokollvorlagen für die Konstruktion verschiedener Protokollmuster ist in Tabelle 2.13 zusammengefasst.

Tabelle 2.13

*Darstellung der Zunahme (<) oder Abnahme (>) der Häufigkeit der drei Protokollmuster (a) differenzierte Anpassung an beide Probleme, (b) zwei sequentielle Protokolle und (c) zwei kategoriale Protokolle in Abhängigkeit von dem Alter der Kinder und einer zunehmenden Einschränkung der Protokollvorlagen (unstrukturiert, strukturiert, Schablonen)*

	6-jährige	8-jährige	10-jährige
Häufigkeit der differenzierten Anpassung	---	---	unstr. < str., Schab.
Häufigkeit von zwei sequentiellen Protokollen	unstr., str. < Schab.	unstr., str. < Schab.	unstr., str. < Schab.
Häufigkeit von zwei kategorialen Protokollen	unstr. > str. > Schab.	unstr. > str. > Schab.	unstr. > str. > Schab.

Die verschieden starken Einschränkungen des externen Repräsentationsraums scheinen für Kinder zwischen 6 und 10 Jahren einen unterschiedlichen Aufforderungscharakter bzw. unterschiedliche wahrgenommene Affordanzen zu haben (vgl. Kap. 1.2.1.2): Viele Kinder *aller Altersgruppen* sehen in den Schablonen möglicherweise eine Aufforderung zur Erstellung von zwei sequentiellen Protokollen. *Nur 10-jährige Kinder* scheinen die Schablonen auch als Aufforderung zu sehen, die zwei Protokolle differenziert an beide Probleme anzupassen. Diese Interpretation wird u.a.

dadurch gestützt, dass wenige 6- und 8-jährige aber viele 10-jährige die kategoriale und die sequentielle Schablone angepasst an das jeweilige Problem wählten.

Weshalb erstellten viele Kinder aus allen Altersgruppen mit den Schablonen zweimalig ein sequentielles Protokoll und passten die Protokolle nicht wie erwartet differenziert an beide Probleme an? Möglicherweise schreiben diese Kinder der kategorialen und der sequentiellen Schablone keine unterschiedlichen Funktionen zu, sondern reagieren mit dem Legen der Chips vor allem auf die räumlichen Einschränkungen beider Schablonen: Eine räumlich getrennte kategoriale Anordnung von Chips, die dem Gestaltgesetz der Nähe entspricht (vgl. Kap. 1.3.1.4), liegt durch die grosse Fläche bei der unstrukturierten und der strukturierten Protokollvorlage nahe. Auf den kleinen Flächen der Schablonen können Gruppen von Chips nur schwer räumlich voneinander getrennt gelegt werden. Die räumliche Einschränkung der Schablonen scheint eher eine sequentielle Anordnung von Chips nahe zu legen, da nach dem Gestaltgesetz der Geschlossenheit bzw. der guten Gestalt zeitlich aufeinanderfolgende Chips eng aneinander liegen sollten. Eine kategoriale Anordnung hätte eventuell über eine kategoriale Schablone nahe gelegt werden können, bei der die Bereiche für die drei Kategorien über dicke Balken auf dem Gittermuster voneinander getrennt sind.

Wird als Kriterium für eine adaptive Konstruktion von Protokollen die Eignung der Protokolle zur *Lösung beider Probleme* betrachtet, so scheint eine zunehmende situationale Einschränkung und damit verbunden eine mögliche Entlastung des Arbeitsspeichers (vgl. Zhang, 2000) Kindern aller Altersgruppen zu helfen, zunehmend effiziente Protokollstrategien zu entwickeln. Kinder im Alter von 8 und 10 Jahren scheinen von den Einschränkungen des externen Repräsentationsraums mehr zu profitieren als 6-jährige Kinder. Doch erstellten 6-jährige Kinder in der stark eingeschränkten Schablonen-Bedingung etwa gleich häufig Protokolle, mit denen beide Probleme gelöst werden können, wie 8- und 10-jährige Kinder in der wenig eingeschränkten Bedingung mit der unstrukturierten Protokollvorlage.

In den Studien 1 bis 3 wurden das kategoriale und das sequentielle Problem innerhalb derselben Rahmengeschichte – der Amselgeschichte – präsentiert. Möglicherweise sind die beobachteten Effekte in besonderer Weise für diese Rahmenge-



schichte gültig, nicht jedoch in einem anderen Kontext. Daher soll in Studie 4 überprüft werden, ob Kinder unterschiedlichen Alters trotz einer neuen Rahmengeschichte und abgeänderter Aufgabenstrukturen die Protokolle vergleichbar an ein kategoriales und ein sequentielles Problem anpassen wie in den Studien 1 und 3.

## **2.4 Studie 4. Konstruktion und Nutzung externer Repräsentationen zur Lösung kategorialer und sequentieller Probleme bei einer neuen Rahmengeschichte**

Den zentralen Fragen aus Studie 1 soll auch mit der vorliegenden Studie nachgegangen werden:

- (1) Erstellen Kinder externe Repräsentationen, die als kategoriales oder als sequentielles Datenprotokoll klassifiziert werden können?
- (2) Passen Kinder unterschiedlichen Alters die Anordnung von Chips an die Struktur eines kategorialen und eines sequentiellen Problems so an, dass sie beide Probleme effizient und schnell lösen können (Konstruktionsaufgabe).
- (3) Können Kinder unterschiedlichen Alters vorgegebene kategoriale und sequentielle Datenprotokolle korrekt dem jeweiligen Problem zuordnen, das damit optimal gelöst werden kann (Zuordnungsaufgabe)?
- (4) Lösen Kinder die Zuordnungsaufgabe häufiger als die Konstruktionsaufgabe?

Im Unterschied zu Studie 1 werden in der vorliegenden Studie keine Vorschulkinder berücksichtigt, sondern stattdessen ältere Kinder im Alter von 12 Jahren. Damit soll überprüft werden, ob älteren Kindern eine differenzierte Anpassung von Protokollen an Probleme besser gelingt als der bisher untersuchten ältesten Altersgruppe der 10-jährigen Kinder.

Die Aufgabenstruktur zwischen Studie 1 und der vorliegenden Studie unterscheidet sich u.a. in folgenden Punkten:

Bei Studie 1 wussten die Kinder nicht, wie viele Ereignisse sie beobachten sollten. Sie fällten ein Urteil, sobald das Nachtbild auf dem Bildschirm des Laptops erschien. Im Unterschied dazu wurde den Kindern in der vorliegenden Studie eine feste Anzahl zu beobachtender Ereignisse vorgegeben.

In Studie 1 konnten die Kinder bei beiden Problemen ein sicheres Urteil fällen, indem sie die Kategorie mit den wenigsten Elementen bestimmten und indem sie die Regel der Sequenz fortsetzten. In der vorliegenden Studie kann ein Urteil bei dem kategorialen Problem nur mit geringer Sicherheit und bei dem sequentiellen Problem mit hoher Sicherheit gefällt werden. Die Kinder sollen die Sicherheit, mit der ein Urteil auf Grundlage der zwei Protokolle gefällt werden kann, in der Phase der Beurteilung der zwei vorgelegten Protokolle einschätzen.

In Studie 1 beobachteten die Kinder die zu protokollierenden Ereignisse auf dem Bildschirm eines Laptops. In der vorliegenden Studie werden die zu protokollierenden Ereignisse vorgelesen.

In Studie 1 sollten die Kinder bei dem sequentiellen Problem eine „Regel“ identifizieren. In der vorliegenden Studie wird stattdessen der einfachere Begriff der „Reihenfolge“ verwendet.

## **2.4.1 Methode**

Die Abfolge der zentralen Untersuchungsschritte ist identisch mit dem Ablauf von Studie 1. Zunächst sollen die Kinder ein kategoriales und ein sequentielles Problem durch eine möglichst optimale Anordnung von Chips lösen. Anschließend sollen sie ein vorgegebenes kategoriales und ein vorgegebenes sequentielles Protokoll dem Problem zuordnen, das damit optimal gelöst werden kann.

### **2.4.1.1 Versuchsteilnehmer**

An der Studie nahmen 25 Zweitklässler ( $M = 8;4$  Jahre, Bereich =  $7;9 - 8;10$ , 15 Mädchen und 10 Jungen), 23 Drittklässler ( $M = 9;4$  Jahre, Bereich =  $8;3 - 9;10$ , 15 Mädchen und 8 Jungen), 23 Viertklässler ( $M = 10;6$  Jahre, Bereich =  $9;8 - 11;10$ , 12 Mädchen und 11 Jungen) und 20 Sechstklässler ( $M = 12;6$  Jahre, Bereich =  $11;9 - 13;6$ , 10 Mädchen und 10 Jungen) aus einer Primarschule in Emmenbrücke (CH) teil. Die vier Altersgruppen werden nachfolgend als 8-, 9-, 10- und 12-jährige bezeichnet.

### **2.4.1.2 Materialien**

Die zwei Probleme, die die Kinder zu lösen hatten, wurden mit Hilfe der in Abbildung 2.12 dargestellten Materialien veranschaulicht: Hinter drei Marktständen waren die Figuren eines Bäckers, eines Metzgers und einer Obstverkäuferin angebracht. Passend zu den Verkäufern lagen auf jedem Stand drei gleiche Lebensmittel aus Holz: drei Brote, drei Würste und drei Äpfel. Weitere Figuren waren ein Affe aus Stoff sowie zwei Polizisten. Jeder Polizist war mit einem Telefon in der Hand abgebildet. Zur Protokollierung von Ereignissen wurden wie in den Studien 1 bis 3 Chips aus Holz (Durchmesser 2 cm, Höhe 0.5cm) verwendet. Auf jedem Chip war beidseitig eines der drei Lebensmittel (Brot, Wurst oder Apfel) abgebildet. Für jedes Lebensmittel waren 15 Chips vorhanden. Anders als in den vorigen drei Studien weisen die Chips in der vorliegenden Studie – durch die darauf angebrachten Bilder von Brot, Wurst oder Apfel – ein stärkeres figuratives Element auf. Die Kinder legten die Chips auf eine rote Protokollvorlage aus Moosgummi (50 x 50 cm).

Das retrospektive Verstehen der unterschiedlichen Eignung der zwei Protokollformen zur Lösung der zwei Probleme wurde mit den in Abbildung 2.13 dargestellten Abbildungen eines sequentiellen und eines kategorialen Protokolls überprüft. Jedes Protokoll war auf einem DIN A 4 Blatt abgebildet.



*Abbildung 2.12.* Oben: Drei Verkäufer mit Marktständen, Lebensmitteln und Affe. Unten: Zwei Polizisten und Chips in einer sequentiellen Anordnung (links) und in einer kategorialen Anordnung (rechts).

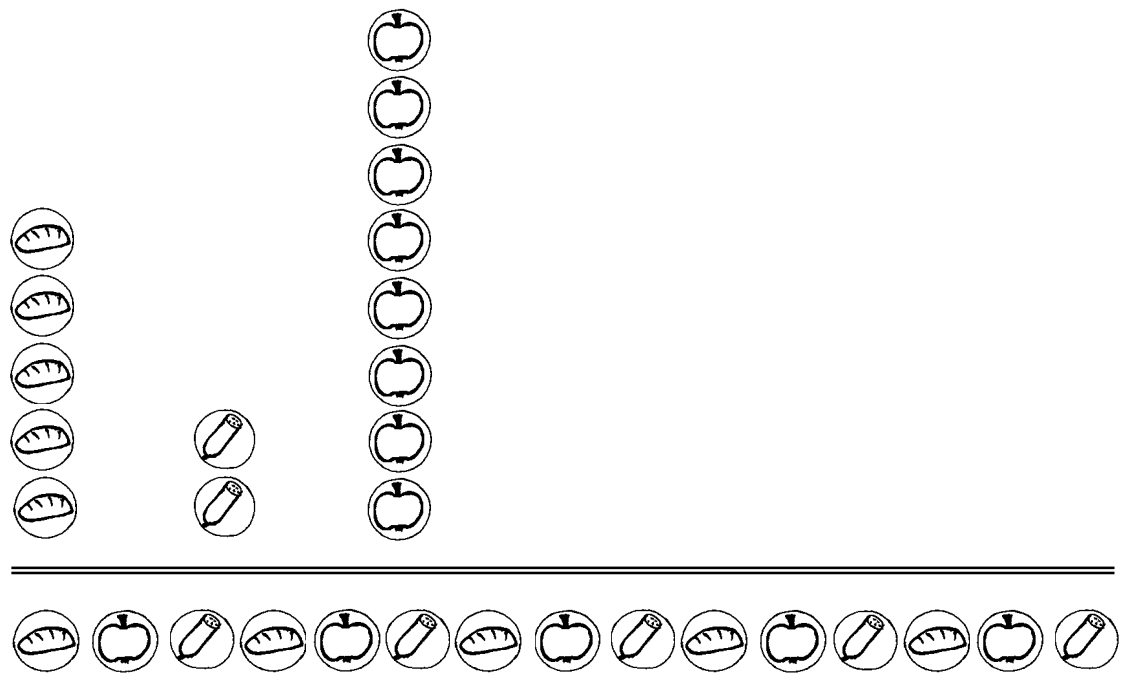


Abbildung 2.13. Verkleinerte Darstellung des kategorialen Protokolls (oben) und des sequentiellen Protokolls (unten).

#### 2.4.1.3 Versuchsablauf

Jedes Kind nahm einzeln an dem Versuch in einem separaten Raum der Schule teil. Ein Versuchsdurchgang dauerte zwischen 20 und 25 Minuten.

*Einleitung in die Rahmengeschichte.* Die Kinder bekamen die zu lösenden Probleme anhand der vor ihnen aufgebauten Marktszenerie erklärt. Zunächst wurde in die Rahmengeschichte eingeführt: „Ein Affe ist aus einem Zoo entlaufen. Er hat Hunger und holt sich jeden Tag auf einem Markt ein Lebensmittel zum Essen. Beim Bäcker holt er Brot, beim Metzger Wurst und beim Obststand Äpfel. Es ist sehr schwierig, den Affen zu fangen, da die Stände weit voneinander entfernt stehen und auf dem Markt immer viele Menschen sind. Die drei Marktleute bitten zwei Polizisten, den Affen einzufangen. Beide haben *nur an einem Tag Zeit, um den Affen einzufangen*. Bis zu diesem Tag können sie noch 15 Tage überlegen, bei welchem Stand sie auf den Affen warten möchten. Jedes Mal, wenn der Affe etwas holt, rufen die Verkäufer die zwei Polizisten an. Und die Polizisten legen für jedes genommene Lebensmittel einen Chip: Wenn ein Brot genommen wurde, legen sie einen Brotchip, bei einer Wurst einen Wurstchip und bei einem Apfel einen Apfelchip [Versuchsleiterin zeigt Chips, legt sie aber nicht].“

*Darstellung der zu prüfenden Hypothesen und Kontrolle des Verstehens der Hypothesen.* Die Kinder sollten mit Hilfe einer kategorialen und einer sequentiellen Hypothese versuchen, den Affen einzufangen. Jedem Kind wurde zunächst nur eine der beiden Hypothesen vorgestellt, die es mit Hilfe der Chips überprüfen sollte. Nachfolgend wurde die zweite Hypothese genannt, die das Kind mit den Chips überprüfen sollte. Die Abfolge der Präsentation von kategorialen und sequentiellen Problemen war über Alter und Geschlecht der Kinder ausbalanciert.

Bei der nachfolgenden Darstellung des Versuchsablaufs wird die Abfolge der beiden Probleme nicht berücksichtigt, da die Präsentation von kategorialen und von sequentiellen Problemen an erster und an zweiter Position in der Problemabfolge identisch ist.

Über Kontrollfragen wurde versucht, das Verstehen jeder Hypothese zu überprüfen. Die kategoriale Hypothese wurde mit folgendem Wortlaut vorgestellt: „Polizist Anton denkt, der Affe mag alles gerne, doch *ein* Lebensmittel mag er lieber als die anderen. Es könnte sein, dass er Wurst lieber mag als Apfel und Brot. Wenn der Affe Wurst lieber mag als Apfel und Brot, was holt er dann wohl am meisten?“ Die sequentielle Hypothese wurde mit folgendem Wortlaut vorgestellt: „Polizist Bert denkt, dass der Affe die Lebensmittel in einer *bestimmten Reihenfolge* essen mag. Vielleicht ist es so: der Affe isst an einem Tag ein Brot. Und am nächsten Tag isst er eine Wurst. Dann nochmals eine Wurst und dann einen Apfel. Dann fängt er wieder mit dem Brot an, dann kommt die Wurst, noch eine Wurst und dann ein Apfel usw. Wenn er an einem Tag ein Brot gegessen hat. Was kommt dann am nächsten Tag?“

*Probelegen von Chips.* Wie bei Studie 1 konnten die Kinder vor dem eigentlichen Legen der Chips bei jedem der zwei Probleme mit vorgegebenen Chips überlegen, wie sie diese anordnen könnten, um die Hypothese möglichst effizient zu prüfen. Bei dem kategorialen Problem bekamen sie dafür 7 Chips (3 Wurst, 2 Brot, 2 Apfel) und es wurde gesagt: „Der Polizist muss die Chips so legen, dass er nach den 15 Chips *sofort sehen kann*, was der Affe von den drei Lebensmitteln am liebsten isst. Wie könntest Du die Chips legen, dass Du sofort sehen kannst, was er am liebsten isst?“ Bei dem sequentiellen Problem bekamen die Kinder für das Probelegen 6 Chips (2 Wurst, 2 Brot, 2 Apfel). Es wurde gesagt: „Der Polizist muss die Chips so legen, dass er nach den 15 Chips *sofort sehen kann*, ob der Affe die drei Lebensmittel in einer bestimmten Reihenfolge isst. Wie könntest Du die Chips legen, dass Du so-

fort sehen kannst, ob er die Lebensmittel in einer ganz bestimmten Reihenfolge isst?“ Zur Anordnung der Chips wurde keine Rückmeldung in Form von Bestätigung oder Korrektur gegeben.

*Konstruktion: Legen und Anordnen der 15 Chips sowie Versuch, das Problem zu lösen.* Nach dem Probelegen folgte das Protokollieren von 15 Ereignissen mit dem Ziel, die vorgegebene kategoriale bzw. sequentielle Hypothese zu prüfen und den Affen zu fangen. Wie beim Probelegen wurden die Kinder darauf hingewiesen, die 15 Chips so zu legen, dass sie *sofort sehen* können, was der Affe am liebsten mag bzw. nach welcher Reihenfolge der Affe die Lebensmittel isst. Beim kategorialen Problem las die Versuchsleiterin folgende Abfolge der vom Affen genommenen Lebensmittel vor: Brot – Wurst – Apfel – Brot – Wurst – Apfel – Apfel – Brot – Apfel – Wurst – Brot – Apfel – Apfel – Wurst – Apfel (4 Brot, 4 Wurst, 7 Apfel). Beim sequentiellen Problem las die Versuchsleiterin folgende Abfolge vor: Brot – Wurst – Apfel – Apfel – Brot – Wurst – Apfel – Apfel – Brot – Wurst – Apfel – Apfel – Brot – Wurst – Apfel (4 Brot, 4 Wurst, 7 Apfel).

Nach dem Legen der 15 Chips wurden die Kinder aufgefordert, den Polizisten zu dem Stand zu stellen, an dem er auf den Affen warten soll.

*Zuordnung von vorgegebenen Protokollen zu Problemen.* Abschließend wurden den Kindern die in Abbildung 2.13 dargestellten Bilder eines sequentiellen und eines kategorialen Protokolls vorgelegt. Zu jedem der zwei Protokolle wurde folgende Frage gestellt: „Wollte der Polizist hier herausfinden, was der Affe am liebsten mag oder wollte er herausfinden, was er in welcher Reihenfolge isst?“ Der kategoriale und der sequentielle Aspekt wurden dabei in ausbalancierter Abfolge genannt. Zudem sollten die Kinder beurteilen, mit welchem Protokoll man den Affen mit größerer Wahrscheinlichkeit fangen können wird: „Welcher von den zwei Polizisten hat die größere Chance, den Affen zu fangen? Der, der dies gemacht hat oder der, der das gemacht hat?“ Die Abfolge, in der auf die zwei Protokolle gezeigt wurde, war zwischen Alter und Geschlecht ausbalanciert.

## 2.4.2 Ergebnisse

### 2.4.2.1 Kodierungen

Die Anordnung der von den Kindern gelegten Chips wurde wie in Studie 1 als kategorial, sequentiell oder als „Rest“ kategorisiert. Alle Versuchsdurchgänge wurden auf Video aufgenommen. Die Antworten der Kinder und die Anordnung der von den Kindern gelegten Chips wurden während der Versuchsdurchführung von der Versuchsleiterin auf einem Protokollbogen kodiert. Ein unabhängiger Rater kodierte die Anordnung der Chips und die Antworten von 25 Kindern auf Grundlage der Videoaufzeichnungen. Die Berechnung der Rater-Übereinstimmung bezieht sich auf 13 Antworten (4 Anordnungen von Chips; 9 mündliche Antworten, welche als korrekt oder als nicht korrekt kategorisiert wurden). Sie wurde berechnet als die Anzahl von Übereinstimmungen zwischen den beiden Ratern geteilt durch die Anzahl von Übereinstimmungen plus der Nicht-Übereinstimmungen. Über alle Aufgaben gemittelt ist die Reliabilität .98 ( $\kappa = .92$ ). Differenzen zwischen den Ratern wurden anhand der Videoaufzeichnungen geklärt.

Die Daten wurden gemäß der in Studie 1 beschriebenen Verfahren analysiert.

*Wie ordnen die Kinder die Chips hinsichtlich der Kategorien „kategorial“, „sequentiell“ und „Rest“ an?* Die von den Kindern gelegten Chips wurden in 97% der Fälle den Kategorien „kategorial“ bzw. „sequentiell“ zugeordnet. Nur 3% der angeordneten Chips wurden als „Rest“ kategorisiert.

*Welche Rolle spielt die Abfolge von kategorialem und sequentiellem Problem (kat-seq oder seq-kat) für die Anordnung der Chips?* Es wird hierbei unterschieden, ob Kinder die Chips (a) differenziert an beide Probleme anpassen, (b) zwei sequentielle Protokolle erstellen oder (c) zwei kategoriale Protokolle erstellen. Bei dieser und den nachfolgenden Analysen werden Kinder, deren Anordnungen von Chips als „sonstig“ (d.h., nur eine der beiden Anordnungen von Chips ist als kategoriales oder als sequentielles Protokoll identifizierbar) klassifiziert sind, nicht berücksichtigt. Die nachfolgend dargestellten Unterschiede zwischen den zwei Problemabfolgen können aufgrund kleiner Zellenbesetzungen nur deskriptiv beschrieben werden.

Tendenziell erstellten die 8-jährigen bei der Problemabfolge kat-seq häufiger zweimalig ein kategoriales Protokoll ( $n=7$ ) als bei der Problemabfolge seq-kat ( $n=3$ ).



Bei der Problemabfolge seq-kat erstellten die 8-jährigen häufiger zweimalig ein sequentielles Protokoll (n=7) als bei der Problemabfolge kat-seq (n=1).

Die 9-jährigen erstellten nur bei der Problemabfolge seq-kat zweimalig ein sequentielles Protokoll (n=5), nicht aber bei der Problemabfolge kat-seq. Die 9-jährigen passten die Anordnung der Chips bei der Abfolge kat-seq (n=6) etwas häufiger an beide Probleme an als bei der Abfolge seq-kat (n=1).

Die 10-jährigen erstellten nur bei der Problemabfolge seq-kat zweimalig ein sequentielles Protokoll (n=6), nicht aber bei der Problemabfolge kat-seq. Die Anordnung der Chips passten die 10-jährigen bei der Abfolge kat-seq (n=6) etwas häufiger an beide Probleme an als bei der Abfolge seq-kat (n=3).

Die 12-jährigen passten die Anordnung der Chips bei der Abfolge kat-seq (n=8) etwas häufiger an beide Probleme an als bei der Abfolge seq-kat (n=4).

Zusammengefasst passten 9-, 10- und 12-jährige die Anordnung der Chips bei der Problemabfolge kat-seq etwas häufiger an beide Probleme an als bei der Problemabfolge seq-kat. Möglicherweise erkennen einige Kinder, dass ein beim kategorialen Problem erstelltes kategoriales Protokoll zur Lösung des nachfolgenden sequentiellen Problems nicht geeignet ist. Nur über einen Wechsel der Anordnung der Chips kann das sequentielle Problem gelöst werden. Hingegen ist ein sequentielles Protokoll, welches zur Lösung des sequentiellen Problems erstellt wurde, auch zur Lösung des nachfolgenden kategorialen Problems geeignet. Ein Wechsel der Protokollform ist nicht zwingend erforderlich.

Die Rolle der Problemabfolgen für die Anordnung der Chips soll bei den nachfolgenden Analysen nicht berücksichtigt werden.

#### 2.4.2.2 Zum Erstellen von Protokollen

*Verstehen der Kontrollfragen zu den Hypothesen.* Das Verstehen der Hypothesen von Polizist A und B ist eine wichtige Voraussetzung dafür, dass Kinder die Chips optimal an das jeweilige Problem anpassen können. Nahezu alle Kinder aus allen Klassen antworteten korrekt, dass der Affe dasjenige Lebensmittel am meisten nimmt, welches er am meisten mag. Nur je zwei 8- und 9-jährige Kinder gaben eine andere Antwort. Vergleichbar setzten nahezu alle Kinder außer einem 8- und einem 9-jährigen Kind die vorgegebene Sequenz korrekt fort. Somit scheinen fast alle Kinder die Hypothesen der zwei Polizisten und damit vergleichbar zu Studie 3 das Beispiel einer sequentiellen Abfolge verstanden zu haben.

*Wie ordnen die Kinder die Chips zur Lösung der zwei Probleme an?* In Tabelle 2.14 und in Abbildung 2.14 ist die Zahl der Kinder für jede Altersgruppe aufgeführt, die (a) angepasst an die Probleme ein kategoriales und ein sequentielles Protokoll erstellten, (b) zwei sequentielle Protokolle erstellten, (c) zwei kategoriale Protokolle erstellten und (d) maximal ein sinnvolles Protokoll erstellten (Kategorie „sonstig“).

Zwischen den Altersgruppen unterscheiden sich die Anteile von Kindern mit unterschiedlichen Protokollmustern nicht signifikant ( $\chi^2(6, N = 87) = 9.24, p > .05$ ). Tendenziell passten die Kinder mit zunehmendem Alter die Protokolle häufiger differenziert an die Struktur beider Probleme an. Dabei unterscheiden sich nur die 12-jährigen von den 8-jährigen signifikant (Fisher's exact test,  $p < .01$ ). Die relativen Häufigkeiten der Protokollmuster bei den 8- und 10-jährigen sind vergleichbar mit den Mustern der 8- und 10-jährigen in Studie 1.

Tabelle 2.14

*Anteil der Kinder aus jeder Altersgruppe, die (a) angepasst an die Probleme ein kategoriales und ein sequentielles Protokoll erstellen, (b) zwei sequentielle Protokolle erstellen, (c) zwei kategoriale Protokolle erstellen, (d) maximal ein sinnvolles Protokoll erstellen*

	8-jährige	9-jährige	10-jährige	12-jährige
	<i>n</i> (%)	<i>n</i> (%)	<i>n</i> (%)	<i>n</i> (%)
seq. und kat. Protokoll, die an die Probleme angepasst sind	4 (16)	7 (30)	9 (39)	12 (60)
zwei sequentielle Protokolle	8 (32)	5 (22)	6 (26)	2 (10)
zwei kategoriale Protokolle	10 (40)	11 (48)	8 (35)	6 (30)
max. ein sinnvolles Protokoll	3 (12)	0 (0)	0 (0)	0 (0)

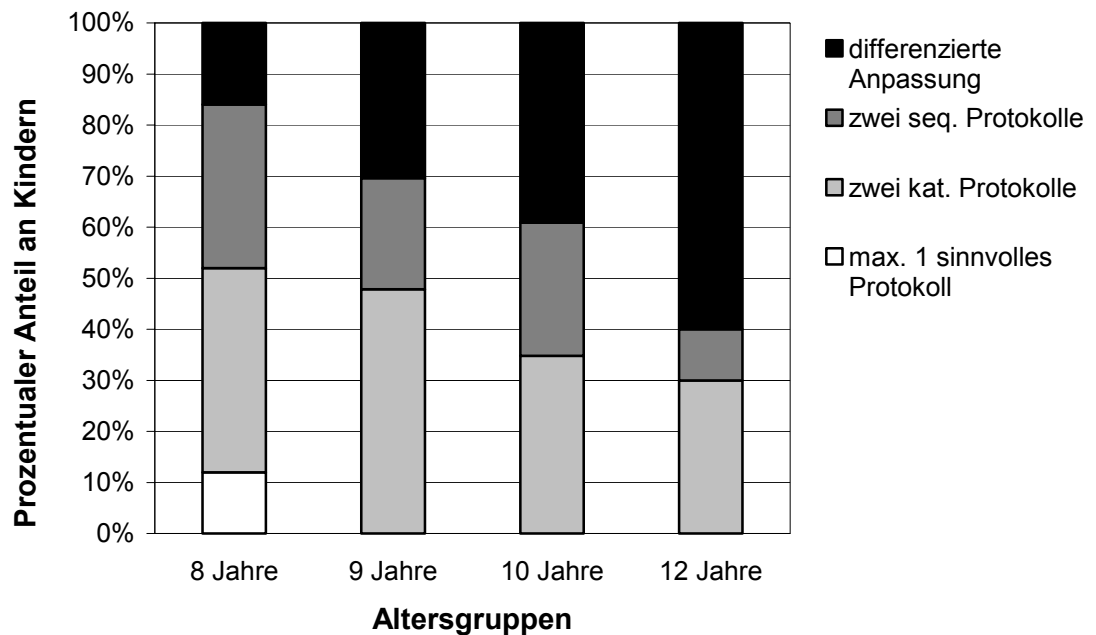


Abbildung 2.14. Prozentualer Anteil der Kinder, die (a) Protokolle erstellen, die an beide Probleme angepasst sind, (b) zwei sequentielle Protokolle erstellen, (c) zwei kategoriale Protokolle erstellen, (d) maximal ein sinnvolles Protokoll erstellen.

*Wie adaptiv passen Kinder ihre Protokolle an die Struktur beider Probleme an?* Im Unterschied zur vorigen Analyse sind bei dieser Analyse die Kinder zusammengefasst, die ihre Protokolle nur an eines der beiden Probleme angepasst haben, entweder an das sequentielle oder an das kategoriale Problem. Diese Gruppe wird mit den Kindern verglichen, die die Protokolle differenziert an beide Probleme anpassten. Der Anteil an Kindern, die ihre Protokolle zweimalig anpassten, nimmt mit zunehmendem Alter zu ( $\chi^2(3, N = 87) = 9.19, p < .05$ ).

*Erstellen Kinder Protokolle, mit denen sie ein Problem oder beide Probleme lösen können?* Bei dieser Analyse sind Kinder zusammengefasst, die mit ihren Protokollen prinzipiell beide Probleme lösen können (differenzierte Anpassung sowie zweimalig sequentielles Protokoll). Diese Gruppe wird verglichen mit den Kindern, die zweimalig ein kategoriales Protokoll erstellten. Die Zahl der Kinder, die unterschiedlich geeignete Protokolle für die Lösung beider Probleme erstellen, unterscheidet sich zwischen den drei Altersgruppen nicht signifikant ( $\chi^2(3, N = 87) = 1.62, p > .05$ ). Tendenziell erstellten die 10- und 12-jährigen Kinder (65%; 70%) häufiger Protokolle, mit denen beide Probleme gelöst werden können, als die 8- und 9-jährigen Kinder (48%; 52%).

*Wie hängt die unterschiedliche Eignung der beiden Protokolle für die Lösung beider Probleme mit den tatsächlichen Lösungshäufigkeiten zusammen?* Das kategoriale Problem wurde von Kindern mit einem sequentiellen Protokoll (100%) und von Kindern mit einem kategorialen Protokoll (99%) nahezu gleich häufig gelöst. Das sequentielle Problem wurde häufiger von Kindern mit einem sequentiellen Protokoll (76%) als von Kindern mit einem kategorialen Protokoll (24%) gelöst ( $\chi^2(1, N = 89) = 19.61, p < .001$ ).

*Wie häufig lösen die Kinder das kategoriale und das sequentielle Problem?* Alle Kinder außer einem 8-jährigen Kind erkennen beim kategorialen Problem korrekt, welches Lebensmittel der Affe am liebsten mag. Beim sequentiellen Problem gibt es deutliche Altersunterschiede in der Anzahl der Kinder, die die Regel korrekt fortsetzten ( $\chi^2(3, N = 91) = 13.92, p < .01$ ). Von den 10- und 12-jährigen (83%; 80%) setzten mehr Kinder die Regel korrekt fort als von den 8-jährigen (40%) und als von den 9-jährigen (48%). Das kann damit erklärt werden, dass die 10- und 12-jährigen Kinder beim sequentiellen Problem häufiger ein sequentielles Protokoll erstellten als die 8- und 9-jährigen Kinder.

#### 2.4.2.3 Beurteilung verschiedener Aspekte der zwei vorgelegten Protokolle

*Ordnen Kinder die zwei vorgelegten Protokolle dem sequentiellen und dem kategorialen Problem korrekt zu?* Die Kinder sollten für jedes vorgelegte Protokoll entscheiden, welche der zwei Hypothesen damit überprüft werden sollte. Nahezu alle Kinder aus allen Altersgruppen entschieden dies für beide Protokolle korrekt. Dem kategorialen Protokoll ordneten 84% der 8-jährigen, 87% der 9-jährigen, 100% der 10-jährigen und 95% der 12-jährigen Kinder eine korrekte Funktion zu. Dem sequentiellen Protokoll ordneten 80% der 8-jährigen, 87% der 9-jährigen, 100% der 10-jährigen und 95% der 12-jährigen Kinder eine korrekte Funktion zu.

*Wie beurteilen die Kinder die vorgelegten Protokolle als Grundlage für einen „sicheren“ Fang des Affen?* Die Kinder wurden gefragt, welcher der zwei Polizisten „die größere Chance“ hat, den Affen zu fangen, der mit dem kategorialen oder der mit dem sequentiellen Protokoll. Das sequentielle Protokoll als verlässlichere Grundlage wählten 28% der 8-jährigen, 39% der 9-jährigen, 52% der 10-jährigen und 65% der 12-jährigen. Mit zunehmendem Alter geben somit mehr Kinder an, das sequentielle Protokoll sei eine verlässlichere Grundlage für das Fangen des Affen als

das kategoriale Protokoll. Der relative Anteil der Kinder, die das sequentielle Protokoll als eine sicherere Entscheidungsgrundlage wählten, unterscheidet sich nur zwischen den 8- und den 12-jährigen signifikant,  $\chi^2(1, N = 45) = 4.75, p < .05$ <sup>19</sup>.

#### 2.4.2.4 Zum Vergleich der Konstruktionsaufgabe mit der Zuordnungsaufgabe

*Gelingt Kindern eine differenzierte Zuordnung der Protokolle zu den Problemen häufiger als eine differenzierte Konstruktion von Protokollen für die Lösung der Probleme?* Bei allen vier Altersgruppen gelingt es mehr Kindern, die Protokolle den Problemen retrospektiv zuzuordnen als die Chips an die Strukturen der Probleme anzupassen ( $\chi^2(1, N = 182) = 56.04, p < .001$ ). Dieser Unterschied ist bei den 8-, den 9-, den 10- und den 12-jährigen Kindern signifikant ( $\chi^2(1, N = 50) = 18.03, p < .001$ <sup>20</sup>; Fisher's exact test,  $p < .001$ ; Fisher's exact test,  $p < .001$ ; Fisher's exact test,  $p < .01$ .)

### 2.4.3 Diskussion

Wie bei den Ergebnissen aus Studien 1 und 3 sind nahezu alle der von den Kindern erstellten Anordnungen von Chips als kategorial oder als sequentiell klassifizierbar. Wie in den Studien 1 und 3 passen die Kinder mit zunehmendem Alter die Protokolle häufiger differenziert an beide Probleme an. Dieser Unterschied scheint nicht an einem mangelnden Verstehen der Aufgabenstellung (kategoriale und sequentielle Hypothese) zu liegen, welches vor der Konstruktion von Protokollen überprüft wurde.

Trotz einer anderen Rahmengeschichte und einer etwas anderen Aufgabenstruktur als in den Studien 1 und 3 ist die relative Häufigkeit differenzierter Anpassungen der Protokolle an die Probleme bei den 10-jährigen in der vorliegenden Studie (39%) vergleichbar mit den 10-jährigen in Studie 1 (44%) und mit den 10-jährigen in Studie 3 bei der Bedingung mit der unstrukturierten Protokollvorlage (36%). Die 12-jährigen in der vorliegenden Studie passten die Protokolle etwa gleich häufig an beide Probleme an wie die 10-jährigen in Studie 3 in der Schablonen-

---

<sup>19</sup>  $\chi^2$ -Wert ist korrigiert nach Yates.

<sup>20</sup>  $\chi^2$ -Wert ist korrigiert nach Yates.

Bedingung. Es ist daher wahrscheinlich, dass auch die 12-jährigen von einer Einschränkung des externen Repräsentationsraums wie in Studie 3 profitieren würden und dass Jugendliche und Erwachsene die Protokolle vermutlich noch häufiger differenziert an beide Probleme anpassen als die 12-jährigen Kinder.

Wie in Studie 1 gelingt Kindern aller Altersgruppen eine adaptive Zuordnung von vorgegebenen Protokollen zu Problemen häufiger als eine Konstruktion von Protokollen, die an die konzeptuelle Struktur des sequentiellen und kategorialen Problems angepasst sind. Dieses Resultat scheint vor allem auf Unterschiede in der Einschränkung des externen Repräsentationsraums zurück zu führen zu sein (vgl. Kap. 1.3.2.1).

### 3 Allgemeine Diskussion

Externe Repräsentationen können effiziente Hilfen für die Verarbeitung von Informationen und für das Lösen von Problemen sein. Allerdings kann eine externe Repräsentation das Lösen eines Problems in der Regel nur dann optimal unterstützen, wenn zentrale Merkmale des Problems in der externen Repräsentation dargestellt und irrelevante Merkmale darin nicht repräsentiert sind (vgl. Kap. 1.3.3). Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde untersucht, ob Kinder zwischen 5 und 12 Jahren geeignete externe Repräsentationen zur Lösung eines kategorialen und eines sequentiellen Problems konstruieren und nutzen können.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird vor der Diskussion ausgewählter Ergebnisse im nachfolgenden Kapitel 3.1.1 das Prinzip der zwei zentralen Aufgabenformen, welche in den Studien verwendet wurden, beschrieben. Daran anschließend werden in Kapitel 3.1.2 die Abfolgen der Aufgaben innerhalb jeder der vier Studien dargestellt.

#### 3.1 Darstellung zentraler Aufgabenformen und der Abfolge von Aufgaben innerhalb jeder Studie

##### 3.1.1 Konstruktionsaufgabe und Zuordnungsaufgabe

Zentrale Aufgabenformen in den vorliegenden Studien waren (a) die Konstruktion externer Repräsentationen zur Lösung spezifischer Probleme und (b) die Zuordnung vorgegebener externer Repräsentationen zu Problemen, welche mit der jeweiligen externen Repräsentation besser gelöst werden können.

(a) Bei der *Konstruktion externer Repräsentationen* (Konstruktionsaufgabe) beobachteten Kinder mehrere aufeinanderfolgende Ereignisse, die einer von drei möglichen Ereigniskategorien zugeordnet waren. Bei den Studien 1 bis 3 beobachteten Kinder auf dem Bildschirm eines Laptops, wie eine Amselmutter ihre drei Jungen nacheinander füttert. Bei Studie 4 wurde Kindern beschrieben, in welcher Abfolge ein Affe verschiedene Lebensmittel (Brot, Wurst, Apfel) von Markständen nimmt.

Für jedes beobachtete Ereignis legten die Kinder einen mit der Ereigniskategorie korrespondierenden Chip auf eine Protokollvorlage. Die Kinder sollten die Chips beim Protokollieren so anordnen, dass eine kategoriale oder eine sequentielle Information aus der Anordnung von Chips möglichst ökonomisch („gut und

schnell“) entnommen werden kann. Zur Lösung eines *kategorialen Problems* (z.B. „Welches Amseljunge wurde bis zu einem bestimmten Zeitpunkt am wenigsten gefüttert?“) ist ein kategoriales Datenprotokoll geeignet. Zur Lösung eines *sequentiellen Problems* (z.B. „Nach welcher Regel wurden die Amseljungen nacheinander gefüttert?“) ist ein sequentielles Datenprotokoll geeignet (vgl. Kap. 1.2.3). Die Kinder lösten zuerst eines der beiden Probleme und anschließend das andere. Die Abfolge, in der Kinder die Probleme lösten, war über Alter und Geschlecht ausbalanciert.

(b) Bei der *Nutzung externer Repräsentationen* (Zuordnungsaufgabe) wurde den Kindern ein kategoriales und ein sequentielles Datenprotokoll vorgelegt, auf denen eine kategoriale bzw. eine sequentielle Anordnung von Chips dargestellt war (vgl. Abbildung 2.2, S. 52 und Abbildung 2.13, S. 104). Sie sollten für jedes Datenprotokoll entscheiden, ob es eher zur Lösung eines kategorialen oder eines sequentiellen Problems geeignet ist.

### **3.1.2 Zur Abfolge spezifischer Aufgaben in den vier Studien**

In *Studie 1* („Amselgeschichte“) versuchten die Kinder (6, 8, 10 Jahre) ein kategoriales und ein sequentielles Problem durch die Anordnung von Chips zu lösen. In einem zweiten Schritt wurde den Kindern ein kategoriales und ein sequentielles Datenprotokoll vorgelegt. Die Kinder sollten für jedes Datenprotokoll entscheiden, ob es eher zur Lösung des kategorialen oder des sequentiellen Problems geeignet ist.

In *Studie 2* („Amselgeschichte“) wurde den Kindern (5, 7, 8 Jahre) ein kategoriales und ein sequentielles Datenprotokoll vorgelegt. Bei jedem Protokoll sollten die Kinder entscheiden, welche *Informationskomponenten* („relative Häufigkeiten“, „temporale Abfolge“, „Regel“) daraus entnommen oder nicht entnommen werden können. Nach der Auseinandersetzung mit den zwei vorgegebenen Protokollbeispielen erstellten die Kinder mit Chips ein eigenes Datenprotokoll. Dabei sollten die Chips so angeordnet werden, dass die Informationskomponenten der „relativen Häufigkeiten“ und der „Regel“ aus dem Protokoll entnommen werden können.

In *Studie 3* („Amselgeschichte“) versuchten Kinder (6, 8, 10 Jahre) wie bei Studie 1 ein kategoriales und ein sequentielles Problem durch die Anordnung von Chips zu lösen. Die Kinder legten die Chips auf *unterschiedlich strukturierte Protokollvorlagen*: entweder auf eine unstrukturierte Protokollvorlage (quadratisches Brett) oder auf eine strukturierte Protokollvorlage (quadratisches Brett mit Gittermuster) oder auf Schablonen (zwei Schablonen-Brettchen).



In *Studie 4* war der Ablauf vergleichbar zu dem von Studie 1, allerdings wurden die Aufgaben im Rahmen einer anderen Geschichte („Affengeschichte“) präsentiert. Zunächst versuchten die Kinder (8, 9, 10, 12 Jahre) ein kategoriales und ein sequentielles Problem durch die Anordnung von Chips zu lösen. In einem zweiten Schritt wurde den Kindern ein kategoriales und ein sequentielles Datenprotokoll vorgelegt. Die Kinder sollten für jedes Datenprotokoll entscheiden, ob es eher zur Lösung des kategorialen oder des sequentiellen Problems geeignet ist.

Zusammengefasst wurden innerhalb jeder Studie folgende Aufgaben in folgender Abfolge gegeben:

<b>Studie 1</b> „Amselgeschichte“ 6, 8, 10 Jahre	(1) Konstruktionsaufgabe	→ (2) Zuordnungsaufgabe
<b>Studie 2</b> „Amselgeschichte“ 5, 7, 8 Jahre	(1) Bestimmung von Informationskomponenten bei vorgelegten Datenprotokollen	→ (2) Konstruktionsaufgabe <i>nach</i> Auseinandersetzung mit Protokollbeispielen
<b>Studie 3</b> „Amselgeschichte“ 6, 8, 10 Jahre	Konstruktionsaufgabe mit verschiedenen stark strukturierten Protokollvorlagen	
<b>Studie 4</b> „Affengeschichte“ 8, 9, 10, 12 Jahre	(1) Konstruktionsaufgabe	→ (2) Zuordnungsaufgabe

*Abbildung 3.1.* Art und Abfolge (siehe Pfeile) von Aufgaben innerhalb der Studien 1 bis 4 sowie die bei jeder Studie verwendete Rahmengeschichte und die in jeder Studie untersuchten Altersgruppen.

Zentrale Ergebnisse aus den vier Studien werden nachfolgend diskutiert.

### 3.2 Erkennen Kinder ausgewählte Merkmale und Funktionen von kategorialen und sequentiellen Datenprotokollen?

Die Identifizierung und Unterscheidung kennzeichnender Merkmale und Funktionen von kategorialen und sequentiellen Datenprotokollen ist eine wichtige Voraussetzung für eine adaptive Konstruktion und Nutzung von Datenprotokollen zur Lösung verschiedener Probleme.

In Studie 2 gaben Kinder zwischen 5 und 8 Jahren anhand vorgelegter Datenprotokolle häufig korrekt an, dass (a) aus einem kategorialen Datenprotokoll *ausschliesslich* relative Häufigkeitsinformationen und *keine* temporale Abfolge und (b)

aus einem sequentiellen Datenprotokoll *sowohl* relative Häufigkeiten *als auch* eine temporale Abfolge entnommen werden können. Die Identifizierung einer vorhandenen oder nicht vorhandenen Regel in den zwei Protokollformen scheint besonders 5- aber auch 7-jährigen Kindern schwer zu fallen.

Ein weiterer Unterschied zwischen den zwei Protokollformen ist die Geschwindigkeit, mit der relative Häufigkeiten aus einem Protokoll entnommen werden können. Relative Häufigkeiten können zusammenhängend mit dem Gestehtgesetz der Nähe (vgl. Kap. 1.3.1) schneller aus einer kategorialen als aus einer sequentiellen Anordnung von Datensymbolen entnommen werden. Diesen Unterschied in der Geschwindigkeit der Informationsentnahme erkannte in Studie 1 der überwiegende Teil der Kinder aller Altersgruppen (6-10 Jahre).

Aus diesen Ergebnissen kann geschlossen werden, dass bereits Vorschulkin-der wesentliche Merkmale und Funktionen kategorialer und sequentieller Datenprotokolle verstehen. Die in den vier Studien untersuchten Altersgruppen sollten daher prinzipiell in der Lage sein, geeignete Datenprotokolle zur Lösung spezifischer Probleme zu nutzen und zu konstruieren.

### **3.3 Adaptive Konstruktion und Nutzung externer Repräsentationen: Passen Kinder die räumliche Struktur externer Repräsentationen an die konzeptuelle Struktur des kategorialen und des sequentiellen Problems an?**

Bei der Konstruktionsaufgabe gibt es einen klaren Entwicklungstrend: Mit zunehmendem Alter erstellten Kinder in den Studien 1, 3 und 4 zunehmend häufiger Datenprotokolle, die an die konzeptuelle Struktur beider Probleme angepasst sind. Besonders jüngere Kinder im Alter von 6 und 8 Jahren erstellten häufig zwei kategoriale oder zwei sequentielle Datenprotokolle zur Lösung beider Probleme. Das heißt, nur ein Datenprotokoll war an die Struktur eines Problems optimal angepasst.

Der in den drei Studien beobachtete Entwicklungstrend ist u.a. deshalb bemerkenswert, da sich die drei Studien in verschiedenen Punkten unterscheiden: (a) In den Studien 1 und 3 wurden die zwei Probleme über eine andere Rahmengeschichte präsentiert als in Studie 4. (b) In den Studien 1 und 4 legten Kinder die Chips auf eine unstrukturierte Protokollvorlage und in Studie 3 legten sie die Chips auf verschieden stark strukturierte Protokollvorlagen.

*Wie könnte der Alterstrend in der Anpassung der Datenprotokolle an die konzeptuelle Struktur beider Probleme erklärt werden?* Der Alterstrend könnte u.a. mit folgenden, möglicherweise miteinander zusammenhängenden Argumenten erklärt werden: (a) Altersunterschiede im Vorwissen über diagrammatische Repräsentationsformen, (b) Altersunterschiede im Verstehen der kategorialen und sequentiellen Aufgaben und (c) Altersunterschiede im Überblicken des externen Repräsentationsraums bzw. im Überblicken möglicher Visualisierungsformen zur Lösung der Probleme.

Die drei Erklärungsmöglichkeiten werden nachfolgend diskutiert.

#### **(a) Vorwissen zu diagrammatischen Repräsentationsformen**

Im Verlauf ihrer Kindergarten- und Schulzeit werden Kinder zunehmend mit verschiedenen Formen von externen Repräsentationen vertraut gemacht. Dadurch bauen sie möglicherweise ein zunehmend besseres generelles Verständnis von externen Repräsentationen auf. Allerdings werden Kinder im Grundschulalter wenig mit diagrammatischen Repräsentationsformen wie beispielsweise Grafen und Histogrammen konfrontiert. Zudem ist zu erwarten, dass Kinder im Vorschul- und Grundschulalter noch keine Erfahrungen mit den spezifischen Repräsentationsformen des kategorialen und des sequentiellen Datenprotokolls machen konnten.

Dennoch könnte es sein, dass die in den Studien untersuchten Kinder generelles Wissen zu externen Repräsentationsformen auf die spezifischen Formen des kategorialen und des sequentiellen Datenprotokolls anwendeten. Mögliche Vorwissensunterschiede zwischen Kindern unterschiedlichen Alters zu diagrammatischen Repräsentationsformen wurden im Rahmen der Studie jedoch nicht überprüft.

#### **(b) Zum Verstehen der kategorialen und sequentiellen Aufgaben**

Möglicherweise fällt es jüngeren Kindern schwerer als älteren Kindern, die bei kategorialem und sequentiellem Problem gestellten Aufgaben – die Identifizierung relativer Häufigkeiten und die Identifizierung einer Regel – zu verstehen und voneinander zu unterscheiden. Die Unterscheidung der verschiedenen Aufgabenstrukturen ist eine wichtige Voraussetzung für eine Anpassung der räumlichen Anordnung von Chips an die spezifische Aufgabenstruktur jedes Problems. Das heißt, die Kinder sollten beim Wechsel von einem zum nächsten Problem erkennen, dass

sich die Aufgabenstruktur ändert und somit die Anordnung der Chips evtl. auch geändert werden sollte.

Besonders jüngere Kinder scheinen mit dem Verstehen des Begriffs der „Regel“ Schwierigkeiten zu haben (vgl. Kap. 1.4.3). Aus diesem Grund wurde Kindern in den Studien 3 und 4 vor der Konstruktionsaufgabe ein Modell einer Regel vorgegeben (in Studie 4 wurde nicht von „Regel“, sondern von „Reihenfolge“ gesprochen). Nahezu allen Kindern gelang es, das vorgegebene Regelmuster korrekt fortzusetzen. Somit ist davon auszugehen, dass alle Kinder *vor* der Konstruktionsaufgabe eine hinreichend präzise Vorstellung von der Bedeutung einer Regel hatten.

Ein Hinweis darauf, dass Kinder die konzeptuelle Struktur der kategorialen und der sequentiellen Aufgabe unterscheiden können, ist die häufig korrekte Zuordnung von vorgegebenen kategorialen und sequentiellen Datenprotokollen zu dem kategorialen und dem sequentiellen Problem (Studien 1 und 4).

Nach diesen Ergebnissen scheinen die meisten der untersuchten Kinder die Aufgabenstellungen – besonders mit Hilfe des Modells einer regelhaften Abfolge – gut verstanden zu haben. Es ist allerdings möglich, dass einige Kinder trotz einer korrekten Fortsetzung des vorgegebenen Regelmodells die Idee einer Regel nicht auf die Bearbeitung des sequentiellen Problems übertragen konnten.

### **(c) Zum Überblicken des externen Repräsentationsraums**

Ältere Kinder können den externen Repräsentationsraum (vgl. Klahr & Simon, 1999; Schunn & Klahr, 1996, siehe Kap. 1.3.2.1) möglicherweise besser überblicken als jüngere Kinder. Mit dem externen Repräsentationsraum sind verschiedene Möglichkeiten der Visualisierung von Inhalten in einer externen Repräsentation zur Lösung eines Problems gemeint. Das heißt, älteren Kindern fällt es möglicherweise leichter als jüngeren Kindern, unterschiedliche Varianten der Visualisierung von Inhalten in einer externen Repräsentation zur Lösung eines Problems in Betracht zu ziehen. Dadurch könnte es älteren Kindern besser gelingen als jüngeren Kindern, die räumliche Anordnung der Chips mit der konzeptuellen Struktur der verschiedenen Probleme in eine strukturelle Übereinstimmung zu bringen (vgl. Kap. 1.3.1.1).

Altersunterschiede im Überblicken des externen Repräsentationsraums könnten daran liegen, dass ältere Kinder mehr Informationen in ihrem Arbeitsgedächtnis speichern und Informationen effizienter verarbeiten können als jüngere

Kinder. Entwicklungsbedingte Veränderungen der Verarbeitungseffizienz von Informationen (Kail, 1991, 2000; Kail & Salthouse, 1994) und des Arbeitsgedächtnisses (vgl. Aebli, 1963; Case, 1992, 1995; Demetriou et al., 2002; Pascual-Leone, 1970) spielen in verschiedenen entwicklungspsychologischen Theorien eine prominente Rolle. Altersunterschiede in der Verarbeitungseffizienz und in dem Umfang des Arbeitsgedächtnisses scheinen sowohl von biologischen Reifungsprozessen (Case, 1992) als auch von Vorwissensunterschieden (Chi, 1978; Chi, Hutchinson, & Robin, 1989) abzuhängen (Eaton & Ritchot, 1995). Auf die Bedeutung von Vorwissensunterschieden hinsichtlich verschiedener externer Repräsentationsformen wurde oben eingegangen (S. 118, Abschnitt a).

Nach einer Längsschnittstudie von Demetriou et al. (2002) steigern sich die Verarbeitungseffizienz, der Umfang des Arbeitsgedächtnisses und die Qualität von Problemlösungen mit zunehmendem Alter. Dabei scheint die Verarbeitungseffizienz einen starken Einfluss auf das Arbeitsgedächtnis zu haben, welches sich wiederum auf die Entwicklungsrate beim Lösen von Problemen auszuwirken scheint.

Ausgehend von diesen Überlegungen ist zu erwarten, dass auch jüngere Kinder Datenprotokolle flexibel an die konzeptuelle Struktur von kategorialen und sequentiellen Problemen anpassen können, wenn der Umfang an Informationen, die beim Lösen eines Problems intern gespeichert und verarbeitet werden müssen, reduziert wird. Gleichzeitig ist zu erwarten, dass auch viele ältere Kinder von einer Reduzierung des Umfangs an zu verarbeitenden Informationen profitieren.

Auch bei Erwachsenen konnte am Beispiel des Turm von Hanoi Problems gezeigt werden, dass Personen das Problem umso effizienter lösten, je mehr lösungsrelevante Informationen in der externen Repräsentation implementiert waren und somit nicht intern gespeichert und verarbeitet werden mussten (vgl. Zhang und Norman, 1994; Kap. 1.3.2.3).

In den durchgeführten Studien wurde über verschiedene Wege versucht, den externen Repräsentationsraum bzw. den Umfang an Informationen, welche gespeichert und verarbeitet werden müssen, einzuschränken.

*(1) Zuordnungsaufgabe versus Konstruktionsaufgabe.* In den Studien 1 und 4 wurde die Konstruktion von Datenprotokollen mit der Zuordnung vorgegebener Datenprotokolle zu Problemen verglichen.

Bei der *Zuordnungsaufgabe* ist der externe Repräsentationsraum stark eingeschränkt, da zwei vorgegebene Datenprotokolle entweder dem kategorialen oder dem sequentiellen Problem zugeordnet werden sollen. Für eine adaptive Zuordnung genügt die Identifizierung einer strukturellen Ähnlichkeit (vgl. Kap. 1.3.1.1) zwischen der räumlichen Anordnung der in den Datenprotokollen dargestellten Chips und einer Problemstruktur. Bei der *Konstruktionsaufgabe* ist der externe Repräsentationsraum offen. Verschiedenste Anordnungen der Chips zur Lösung der zwei Probleme sind vorstellbar. Eine strukturelle Ähnlichkeit zwischen Problemstruktur und externer Repräsentation muss durch das Arrangement von Chips aufwändig hergestellt werden.

Es wurde daher erwartet, dass Kindern die Zuordnungsaufgabe leichter fällt als die Konstruktionsaufgabe (vgl. Kap. 1.4.2). Tatsächlich gelingt Kindern aller Altersgruppen eine adaptive Zuordnung der Datenprotokolle zu den zwei Problemen häufiger als eine adaptive Konstruktion von Datenprotokollen zur Lösung der zwei Probleme. Besonders in Studie 1 scheinen jüngere Kinder von den Einschränkungen des externen Repräsentationsraums mehr zu profitieren als ältere Kinder. Bei Studie 4 scheinen alle Altersgruppen von den Einschränkungen des externen Repräsentationsraums gleichermaßen zu profitieren.

(2) *Konstruktion eines Datenprotokolls nach Auseinandersetzung mit Beispielen von Datenprotokollen.* In Studie 2 setzten sich Kinder vor der Konstruktion eines Datenprotokolls mit Beispielen eines kategorialen und eines sequentiellen Datenprotokolls auseinander. Beispiele scheinen Zielstrukturen zu vermitteln und besonders beim erstmaligen Lösen einer Aufgabe die kognitive Beanspruchung zu reduzieren (vgl. Kap. 1.3.2.2). Durch eine Auseinandersetzung mit Beispielen von Datenprotokollen sollte der externe Repräsentationsraum bei der nachfolgenden Konstruktionsaufgabe eingeschränkt sein: Es liegt nahe, die Chips so wie bei einem der zwei Datenprotokolle anzuordnen.

Tatsächlich erstellten die Kinder in Studie 2 nach Beschäftigung mit den zwei Datenprotokollen häufiger ein adäquates Datenprotokoll als gleichaltrige Kinder in Studie 1, die sich vor der Konstruktionsaufgabe nicht mit Beispielen von Datenprotokollen auseinander setzen konnten. Die Ergebnisse beider Studien können jedoch nur eingeschränkt miteinander verglichen werden (siehe Kap. 2.2.3).

(3) *Konstruktion von Datenprotokollen mit verschieden stark eingeschränkten Protokollvorlagen.* Bei der Zuordnungsaufgabe (1) und bei der Konstruktionsaufgabe nach Auseinandersetzung mit Beispielen von Datenprotokollen (2) war der externe Repräsentationsraum verhältnismäßig stark eingeschränkt. In Studie 3 wurde versucht, den externen Repräsentationsraum unterschiedlich stark einzuschränken. Die verschieden starken situationalen Einschränkungen wurden über drei Formen von Protokollvorlagen realisiert, auf denen die Kinder die Chips zur Lösung der Probleme anordnen sollten (siehe Abbildung 2.5, S. 80).

In Anlehnung an die oben beschriebenen Ergebnisse aus der Studie von Zhang und Norman (1994, vgl. Kap. 1.3.2.3) wurde erwartet, dass (a) eine zunehmende Strukturierung der Protokollvorlagen mit einer zunehmenden Entlastung des Arbeitsgedächtnisses einhergeht, und (b) dass die Protokollvorlagen mit zunehmender Strukturierung zunehmend geeignetere Strategien zur Lösung des kategorialen und des sequentiellen Problems nahe legen können.

Es zeigte sich, dass eine zunehmende Strukturierung der Protokollvorlagen Kindern *aller Altersgruppen* hilft, häufiger Protokolle zu erstellen, mit denen *beide Probleme* gelöst werden können. Beide Probleme können sowohl mit Protokollen, die an die konzeptuelle Struktur jedes Problems angepasst sind, als auch mit zwei sequentiellen Protokollen gelöst werden. Dabei scheinen Kinder im Alter von 8 und 10 Jahren von den situationalen Einschränkungen mehr zu profitieren als 6-jährige Kinder. Doch immerhin erstellten 6-jährige in der stark strukturierten Schablonenbedingung ebenso häufig Protokolle, mit denen beide Probleme gelöst werden können, wie 8- und 10-jährige in der Bedingung mit der unstrukturierten Protokollvorlage.

Neben diesem allgemeinen Trend über alle Altersgruppen hinweg scheinen besonders die 10-jährigen die zunehmende Einschränkung der Protokollvorlagen als Aufforderung zu sehen, die Datenprotokolle *differenziert* an beide Probleme anzupassen. Kinder aller Altersgruppen scheinen besonders die stark strukturierten Schablonen als Aufforderung zu betrachten, zwei sequentielle Datenprotokolle zu erstellen (zu einer Erklärung dieses Ergebnisses siehe Kap. 2.3.3).

*Zusammenfassung.* Die verschiedenen Varianten der Einschränkung des externen Repräsentationsraums in den vier Studien scheinen Kindern aller Altersgruppen zu helfen, Datenprotokolle differenziert an die konzeptuelle Struktur von Problemen anzupassen bzw. Datenprotokolle zu erstellen, mit denen beide Probleme

gelöst werden können. Dabei scheint eine zunehmende Einschränkung des externen Repräsentationsraums mit einer zunehmenden Reduzierung des Umfangs an Informationen einherzugehen, welche Kinder zur Problemlösung speichern und verarbeiten müssen. Zusätzlich zu der Entlastung des Arbeitsgedächtnisses scheinen bestimmte situationale Einschränkungen wie die Schablonen in Studie 3 das Erstellen spezifischer Repräsentationsformen nahe zu legen.

Der bei der Konstruktionsaufgabe in den Studien 1, 3 und 4 gefundene Alterstrend in der Anpassung der Anordnung von Chips an die konzeptuelle Struktur der zwei Probleme kann somit – zumindest zum Teil – auf Altersunterschiede in der Speicherung und Verarbeitung komplexer Informationen und damit verbunden auf einen Altersunterschied im Überblicken des externen Repräsentationsraums zurückgeführt werden. Da auch einige ältere Grundschulkinder bei der Konstruktionsaufgabe Schwierigkeiten mit einer differenzierten Anpassung von Datenprotokollen an die Struktur von Problemen hatten, profitierten auch sie von Einschränkungen des externen Repräsentationsraums. In Studie 4 führte die Zuordnungsaufgabe allerdings zu einem Deckeneffekt: Nahezu alle Kinder aller Altersgruppen ordneten die Datenprotokolle den zwei Problemen korrekt zu.

### **3.4 Zu einem Modell der Anpassung externer Repräsentationen an die konzeptuelle Struktur von Problemen**

In dem in Abbildung 3.2 dargestellten Modell wird versucht, mögliche Einflussfaktoren für eine Anpassung externer Repräsentationen an die Struktur von Problemen zusammenfassend zu visualisieren. In dem Modell werden kognitive von situationalen Einschränkungen unterschieden (vgl. Cary und Carlson, 1999; Kap. 1.3.2.2).

Die Bedeutung einiger der in der Abbildung aufgeführten Faktoren für die vorliegenden Studien wurde oben diskutiert. Ob Kinder die räumliche Struktur externer Repräsentationen an die konzeptuelle Struktur von Problemen anpassen, hängt maßgeblich von der *Interaktion* zwischen kognitiven Einschränkungen auf Seiten des Kindes und dem Grad an situationaler Einschränkung auf Seiten des Problems ab.

Für eine Anpassung externer Repräsentationen an spezifische Probleme scheinen u.a. altersabhängige Unterschiede in der Verarbeitungseffizienz und dem Umfang des Arbeitsgedächtnisses sowie altersabhängige Unterschiede in der Wahrnehmung von Merkmalen in der Umwelt von Bedeutung zu sein. Beispielsweise



scheinen gleiche Einschränkungen des externen Repräsentationsraums in Studie 3 bei Kindern unterschiedlichen Alters einen unterschiedlichen Aufforderungscharakter für das Erstellen bestimmter Protokolle zu haben: Viele der 10-jährigen Kinder schienen die stark strukturierten Schablonen als Aufforderung zu betrachten, die Datenprotokolle differenziert an beide Probleme anzupassen. Viele 6- und 8-jährige Kinder, aber auch einige 10-jährige Kinder, schienen die Schablonen als Aufforderung zu betrachten, zwei sequentielle Protokolle zu erstellen.

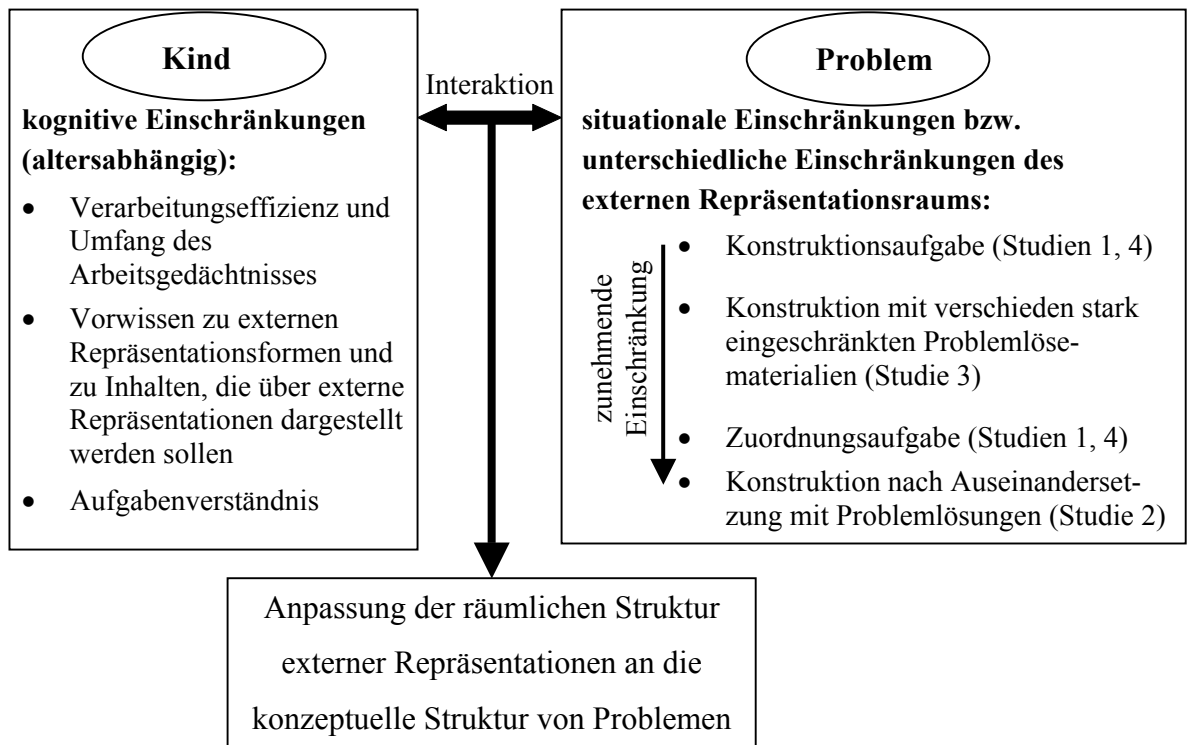


Abbildung 3.2. Darstellung des Einflusses der Interaktion möglicher kognitiver und situationaler Einschränkungen auf die Anpassung der räumlichen Struktur externer Repräsentationen an die konzeptuelle Struktur von Problemen.

Das Modell entspricht dem Ansatz der *situierten Kognition* (Kap. 1.2.1), nach dem menschliches Denken und Handeln über die Interaktion handelnder Menschen mit physikalischen und sozialen Kontexten beobachtet und analysiert werden muss (Greeno, 1994). Nach Norman (1993, p.4) wird bei dem Ansatz der situierten Kognition auf „the structures of the world and how they constrain and guide behavior“ fokussiert. Norman (1993, p.4) drückt die für den Ansatz der situierten Kognition zentrale Idee der Interaktion von Menschen mit ihrer Umwelt folgendermaßen aus: „Human knowledge ... cannot be divorced from the world. To do so is to study a disembodied intelligence, one that is artificial, unreal, and uncharacteristic of actual

behavior. What really matters is the situation and the parts that people play. One cannot look just at the situation, or just the environment, or just the person.“

Ausgehend von diesem Interaktionsmodell wäre es für weitere Studien von Interesse, den Einfluss spezifischer kognitiver und situationaler Aspekte auf das Erstellen externer Repräsentationen genauer zu untersuchen und zu erfassen, als dies in den vorliegenden explorativen Studien möglich war. Beispielsweise wäre es interessant, Kinder unterschiedlichen Alters im Rahmen einer Trainingsstudie verschiedene Erfahrungen mit externen Repräsentationen machen zu lassen und mögliche Effekte dieser Erfahrungen auf die Konstruktion externer Repräsentationen zur Darstellung spezifischer Inhalte zu untersuchen.

### **3.5 Zu „meta-repräsentationalem Verstehen“ bei Kindern**

„Meta-repräsentationales Verstehen“ wurde im Theorieteil (Kap. 1.1, Kap. 1.4.1) als adaptive Konstruktion und Nutzung externer Repräsentationen zur Lösung spezifischer Probleme beschrieben (vgl. diSessa & Sherin, 2000; Liben, 1999, 2003). Wird meta-repräsentationales Verstehen über Kompetenzen in *beiden* Bereichen – der adaptiven Konstruktion *und* der adaptiven Nutzung – definiert, so kann Kindern erst ab etwa 10 Jahren ein beginnendes meta-repräsentationales Verstehen zugeschrieben werden.

Allerdings scheint es aufgrund der oben diskutierten Ergebnisse sinnvoller, die Anpassungsleistungen von Kindern unterschiedlichen Alters in Abhängigkeit von dem jeweiligen Aufgabenkontext bzw. den verschiedenen Einschränkungen des externen Repräsentationsraums zu betrachten. Diese Sichtweise stimmt überein mit der Theorie des adaptiven Denkens nach Anderson und Wilkening (1991) und der „overlapping-waves“ Theorie nach Siegler (1996) (vgl. Kap. 1.3.3). In beiden theoretischen Ansätzen wird Adaptivität als eine Anpassung von Wissen bzw. von Strategien an spezifische Aufgabensituationen beschrieben.

Wird meta-repräsentationales Verstehen im Blick auf die hier durchgeführten Studien präziser gefasst als eine Anpassung der räumlichen Struktur externer Repräsentationen an die konzeptuelle Struktur verschiedener Probleme, so zeigen bereits viele Vorschulkinder bei einem stark eingeschränkten externen Repräsentationsraum wie bei der Zuordnungsaufgabe oder bei dem Erstellen eines geeigneten Datenprotokolls nach Auseinandersetzung mit Beispielen von Datenprotokollen ein meta-repräsentationales Verstehen.

### 3.6 Zur pädagogischen Bedeutung der Ergebnisse

Logische Bilder (Schnotz, 2001; Kap. 1.2.2.3), zu denen auch die in der vorliegenden Studie verwendeten Datenprotokolle gehören, sind wichtige Hilfsmittel zur Visualisierung und Kommunikation abstrakter und komplexer Inhalte. Anforderungen an das Lesen und Konstruieren externer Repräsentationen scheinen – zusammenhängend mit innovativen Visualisierungsformen, die besonders durch Neue Medien möglich geworden sind, – zuzunehmen (vgl. Tversky, 2001). Somit wächst die Bedeutung einer „visual literacy“ (Mandl & Fischer, 2000) bzw. einer „graphic literacy“ (Fry, 1981), also von Kompetenzen im Umgang mit bildhaften und grafischen Repräsentationsformen.

Kinder setzen sich mit logischen Bildern wie Linien-, Balken- und Kreisdiagrammen oft erst in weiterführenden Schulformen auseinander (Leinhardt, Zaslavsky, & Stein, 1990). Der Umgang mit diesen Repräsentationsformen beschränkt sich zumeist auf die Analyse und Interpretation dargestellter Inhalte. Die *eigenständige Konstruktion* externer Repräsentationen und die Betrachtung der relativen Eignung externer Repräsentationen zur Darstellung unterschiedlicher Inhalte werden eher vernachlässigt. Gerade das Verstehen der relativen Eignung externer Repräsentationen zur Darstellung spezifischer Inhalte ist jedoch nach McKendree et al. (2002, p.62) ein wesentliches Merkmal kritischen Denkens: „Being able to think about why a representation may or may not be good in a particular context is a big part of being a critical thinker. If a student can realise that the problem they are working on is best represented in a particular way, it can help them identify the most important aspects of a situation and analyse what should be done next”.

Die Konstruktion diagrammatischer Repräsentationsformen lässt sich als ein Schritt in einem wissenschaftlichen Forschungsprozess betrachten. Vor dem Erstellen einer diagrammatischen Repräsentation steht in der Regel die Sammlung von Daten. Ist eine diagrammatische Repräsentation erstellt, so können damit mögliche Forschungshypothesen überprüft werden. In den vorliegenden Studien waren die Notation von Daten und das Erstellen einer grafenähnlichen Repräsentation in einem Prozess kombiniert (vgl. Kap. 1.2.3). Bereits Vorschulkinder zeigten ein gutes Verständnis wesentlicher Merkmale und Funktionen von Datenprotokollen: ein großer Teil der untersuchten Kinder schien die Abbildung und externe Speicherung beobachteter Ereignisse in einem Datenprotokoll zu verstehen und konnte ein Problem auf Grundlage von protokollierten Daten erfolgreich lösen (vgl. Kap. 3.2).

Die Datenprotokolle könnten eine geeignete Repräsentationsform sein, um Kindern bereits im Grundschulalter das Sammeln von Daten – verbunden mit der Überlegung einer adäquaten Anordnung von Datensymbolen – zu ermöglichen. Wie in Studie 2 gezeigt, kann besonders jüngeren Grundschulkindern hierbei die Vorlage von Modellen möglicher externer Repräsentationsformen helfen. Auch verschiedene Formen situationaler Einschränkungen wie in Studie 3 könnten den Prozess des Erstellens adäquater Repräsentationsformen unterstützen.

Die Auseinandersetzung mit – und die Konstruktion von – Datenprotokollen könnte eine wichtige Grundlage für das Erstellen komplexerer Repräsentationsformen innerhalb eines Forschungsprozesses sein, den Schüler durchführen. Dazu gehört u.a. die Operationalisierung von Fragestellungen, das Sammeln von Daten, sowie die Visualisierung der Daten mit Hilfe einfacher Software (vgl. Hancock, Kaput, & Goldsmith, 1992; Konold & Pollatsek, 2002; Lehrer & Romberg, 1996).

### 3.7 Weiterführende Fragestellungen

Wie bei den meisten Forschungsvorhaben wurden einige Fragen beantwortet, und eine Vielzahl neuer Fragestellungen zeichnet sich ab. Drei – u.E. besonders relevante – Fragestellungen sollen abschließend angedeutet werden.

In den vorliegenden Studien erstellten Kinder *nur einmalig* ein Datenprotokoll zur Lösung eines kategorialen und eines sequentiellen Problems. Eine Adaptivität bei der Anpassung von Datenprotokollen an die Struktur von Problemen wurde damit für jedes Kind nur einmalig erfasst. Für eine weiterführende Studie wäre interessant, Kinder über einen längeren Zeitraum hinweg mehrmalig kategoriale, sequentielle und möglicherweise andere Formen von Problemen mit Hilfe externer Repräsentationen bearbeiten zu lassen. Ein solches Vorgehen würde der mikrogenetischen Methode nach Siegler & Crowley (1991) entsprechen.

Bei den vorliegenden Studien wurden die adaptive *Konstruktion* und die adaptive *Nutzung* externer Repräsentationen unterschieden. Diese Unterscheidung ist aus einer konstruktivistischen Perspektive (vgl. Papert, 1993) äußerst relevant. Zwar fiel Kindern aller untersuchten Altersgruppen die Nutzung vorgegebener externer Repräsentationen leichter als die Konstruktion externer Repräsentationen, doch ist zu vermuten, dass sich Kinder bei einer Konstruktionsaufgabe intensiver mit der Struktur des darzustellenden Inhalts auseinander setzen als bei einer Nutzungsaufgabe. Es

wäre daher interessant, Effekte von Konstruktion und Nutzung auf das Verstehen des mit der externen Repräsentation dargestellten Inhalts zu vergleichen. Hierbei könnten nach Resultaten aus dem Bereich der Expertise-Forschung Vorwissensunterschiede zu dem dargestellten Inhaltsbereich eine bedeutende Rolle spielen (vgl. Chi, Glaser, & Farr, 1988; Reimann & Rapp, unter Begutachtung).

Inhaltlich wurde in den vorliegenden Studien der Schwerpunkt auf eine adaptive Konstruktion und Nutzung externer Repräsentationen zur Lösung von Problemen gelegt. Ein anderer Inhaltsbereich, bei dem *Adaptivität* auch eine wichtige Rolle spielt, ist die Anpassung externer Repräsentationen an die Bedürfnisse von Kommunikationspartnern. Lee et al. (1998) untersuchten, ob Kinder die Darstellung einer Problemlösung an das unterschiedliche Alter von Adressaten anpassen können. Eine Variante davon könnte sein, dass man externe Repräsentationen zu einem Inhaltsbereich für eine Person erstellt, mit der man sich über diesen Inhaltsbereich schon ausgetauscht oder nicht ausgetauscht hat. Gibt es also ein gemeinsames Vorwissen, so dass eine skizzenhafte externe Repräsentation genügt? Oder ist es aufgrund unterschiedlichen Vorwissens erforderlich, eine umfassende und detaillierte externe Repräsentation zu erstellen?

Externe Repräsentationen können wichtige Hilfsmittel für eine effiziente Verarbeitung von Informationen und für das Lösen von Problemen sein. Neue Einsichten in Inhaltsbereiche können oft nur mit Hilfe externer Repräsentationen gewonnen werden (vgl. Kap. 1.1; 1.3.1.6). William Playfair (1805), einer der ersten, der die Nutzung externer Repräsentationen zur Darstellung ökonomischer und politischer Daten propagierte, beschreibt den Vorteil externer Repräsentationen wie folgt:

„I found the first rough draft gave me a better comprehension of the subject, than all that I had learnt from occasional reading, for half of my lifetime“ (zitiert nach Wainer, 1992, p. 14).

Allerdings kann dieser im Zitat beschriebene Vorteil externer Repräsentationen für die Verarbeitung und das Verstehen von Sachverhalten nur dann besonders gut genutzt werden, wenn die konzeptuelle Struktur eines Inhalts in einer externen Repräsentation möglichst optimal repräsentiert ist. Nach den vorliegenden Studien gelingt bereits Vorschulkindern unter den hier beschriebenen Bedingungen solch

eine adaptive Konstruktion und Nutzung externer Repräsentationen bei der Protokollierung kategorialer und sequentieller Informationen.

## 4 Literatur

- Aebli, H. (1963). *Über die geistige Entwicklung des Kindes*. Stuttgart: Klett.
- Anderson, J. R., & Graf, R. (2001). *Kognitive Psychologie*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Anderson, N. H. (1981). *Foundations of information integration theory*. New York: Academic Press.
- Anderson, N. H., & Wilkening, F. (1991). Adaptive thinking in intuitive physics. In N. H. Anderson (Ed.), *Contributions to information integration theory* (pp. 1-42). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Anderson, R. C., Spiro, R. J., & Anderson, M. C. (1978). Schemata as scaffolding for the representation of information in connected discourse. *American Educational Research Journal*, 15, 433-440.
- Baddeley, A. D. (1990). *Human memory: Theory and practice*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Barwise, J., & Perry, J. (1983). *Situations and attitudes*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Bauer, P. J., & Shore, C. M. (1987). Making a memorable event: Effects of familiarity and organisation on young children's recall of action sequences. *Cognitive Development*, 2, 327-338.
- Beilin, J., & Pearlman, E. G. (1991). Children's iconic realism: Object versus property realism. In H. W. Reese (Ed.), *Advances in child development and behavior* (Vol. 23, pp. 73-111). New York: Academic Press.
- Bortz, J., Lienert, G. A., & Boehnke, K. (1990). *Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik*. Berlin: Springer.
- Brown, A. L., Ellery, S., & Campione, J. C. (1998). Creating zones of proximal development electronically. In J. G. Greeno & S. V. Goldman (Eds.), *Thinking practices in mathematics and science learning* (pp. 341-367). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Bryant, P., & Somerville, S. (1986). The spatial demands of graphs. *British Journal of Psychology*, 77, 187-197.
- Callaghan, T. C. (1999). Early understanding and production of graphic symbols. *Child Development*, 70, 1314-1324.

- Cary, M., & Carlson, R. A. (1999). External support and the development of problem-solving routines. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 25, 1053-1070.
- Cary, M., & Carlson, R. A. (2001). Distributing working memory resources during problem solving. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 27, 836-848.
- Case, R. (1992). The role of the frontal lobes in the regulation of cognitive development. *Brain and Cognition*, 20, 51-73.
- Case, R. (1995). Capacity-based explanations of working memory growth: A brief history and reevaluation. In F. E. Weinert & W. Schneider (Eds.), *Memory performance and competencies: Issues in growth and development*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Chemero, A. (2003). An outline of a theory of affordances. *Ecological Psychology*, 15, 181-195.
- Cheng, P., & Holyoak, K. (1985). Pragmatic reasoning schemas. *Cognitive Psychology*, 17, 391-416.
- Chi, M. T. H., Glaser, R., & Farr, M. J. (1988). *The nature of expertise*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Chi, M. T. H. (1978). Knowledge structures and memory development. In R. S. Siegler (Ed.), *Children's thinking: What develops?* (pp. 73-96). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Chi, M. T. H., Bassok, M., Lewis, M. W., Reimann, P., & Glaser, R. (1989). Self-explanations: How student study and use examples in learning to solve problems. *Cognitive Science*, 13, 145-182.
- Chi, M. T. H., Hutchinson, J. E., & Robin, A. F. (1989). How inferences about novel domain-related concepts can be constrained by structured knowledge. *Merrill Palmer Quarterly*, 35, 27-62.
- Clancey, W. J. (1999). *Conceptual coordination: How the mind orders experience in time*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Cohen, S. R. (1985). The development of constraints on symbol-meaning structure in notation: Evidence from production, interpretation, and forced-choice judgments. *Child Development*, 56, 177-195.
- Cox, R. (1999). Representation construction, externalised cognition and individual differences. *Learning and Instruction*, 9, 343-363.



- Cox, R., & Brna, P. (1995). Supporting the use of external representations in problem solving: The need for flexible learning environments. *Journal of Artificial Intelligence in Education*, 6, 239-302.
- Davidson, J. E., Deuser, R., & Sternberg, R. J. (1994). The role of metacognition in problem solving. In J. Metcalfe & A. P. Shimamura (Eds.), *Metacognition: Knowing about knowing* (pp. 207-226). Cambridge, MA: MIT Press.
- Deák, G., & Bauer, P. J. (1995). The effects of task comprehension on preschoolers' and adults' categorization choices. *Journal of Experimental Child Psychology*, 60, 393-427.
- DeLoache, J. S. (1987). Rapid change in the symbolic functioning of very young children. *Science*, 238, 1556-1557.
- DeLoache, J. S. (1989). The development of representation in young children. In H. W. Reese (Ed.), *Advances in child development and behavior* (Vol. 22, pp. 1-39). New York: Academic Press.
- DeLoache, J. S. (1995). Early symbol understanding and use. *The Psychology of Learning and Motivation*, 33, 65-114.
- DeLoache, J. S. (2000). Dual representation and young children's use of scale models. *Child Development*, 71, 329-338.
- DeLoache, J. S. (2002). Early development of the understanding and use of symbolic artifacts. In U. Goswami (Ed.), *Blackwell handbook of childhood cognitive development* (pp. 206-226). Malden, MA: Blackwell Publishers.
- DeLoache, J. S., & Burns, N. M. (1993). Symbolic development in young children: Understanding models and pictures. In C. Pratt & A. F. Garton (Eds.), *Systems of representation in children: Development and use* (pp. 91-112). Chichester: John Wiley & Sons.
- DeLoache, J. S., Miller, K. F., & Pierroutsakos, S. L. (1998). Reasoning and problem solving. In D. Kuhn & R. S. Siegler (Eds.), *Cognition, perception, and language* (5th ed., Vol. 2, pp. 801-850). New York: John Wiley & Sons.
- DeLoache, J. S., Miller, K. F., & Rosengren, K. S. (1997). The credible shrinking room: Very young children's performance with symbolic and non-symbolic relations. *Psychological Science*, 8, 308-313.
- DeLoache, J. S., Strauss, M. S., & Maynard, J. (1979). Picture perception in infancy. *Infant Behavior and Development*, 2, 77-89.

- Demetriou, A., Christou, C., Spanoudis, G., & Platsidou, M. (2002). The development of mental processing: Efficiency, working memory, and thinking. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 67, 1-155.
- Di Vesta, F. J., & Gray, G. S. (1972). Listening and note taking. *Journal of Educational Psychology*, 63, 8-14.
- Dirks, J., & Gibson, E. J. (1977). Infants' perception of similarity between live people and their photographs. *Child Development*, 48, 124-130.
- diSessa, A. A., & Sherin, B. L. (2000). Meta-representation: An introduction. *Journal of Mathematical Behavior*, 19, 385-398.
- Donald, M. (1991). *Origins of the modern mind: Three stages in the evolution of culture and cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Donald, M. (1993). Precis of Origins of the modern mind: Three stages in the evolution of culture and cognition. *Behavioral and Brain Sciences*, 16, 737-791.
- Dunbar, K. (1998). Problem solving. In W. Bechtel & G. Grahan (Eds.), *A companion to cognitive science* (pp. 289-298). London: Blackwell Publishers.
- Eaton, W. O., & Ritchot, K. F. M. (1995). Physical maturation and information processing speed in middle childhood. *Developmental Psychology*, 31, 967-972.
- Ellis, S., & Siegler, R. S. (1997). Planning as a strategy choice, or Why don't children plan when they should? In S. L. Friedman & E. K. Scholnick (Eds.), *The developmental psychology of planning: Why, how, and when do we plan?* (pp. 183-208). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Engle, R. A. (1998). Not channels but composite signals: Speech, gesture, diagrams, and object demonstrations are integrated in multimodal explanations. In M. A. Gernsbacher & S. J. Derry (Eds.), *Proceedings of the Twentieth Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Eskritt, M., & Lee, K. (2002). "Remember where you last saw that card": Children's production of external symbols as a memory aid. *Developmental Psychology*, 38, 254-266.
- Eysenck, M. W., & Keane, M. T. (1996). *Cognitive psychology: A student's handbook*. Hove, East Sussex: Psychology Press.

- Flavell, J. H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive-developmental inquiry. *American Psychologist*, 34, 906-911.
- Flavell, J. H., Friedrichs, A. G., & Hoyt, J. D. (1970). Developmental changes in memorization processes. *Cognitive Psychology*, 1, 324-340.
- Flavell, J. H., Miller, P. H., & Miller, S. A. (1993). *Cognitive Development* (3rd ed.). New Jersey: Prentice-Hall.
- Fletcher, K. L., & Bray, N. W. (1996). External memory strategy use in preschool children. *Merrill-Palmer Quarterly*, 42, 379-396.
- Fletcher, K. L., & Bray, N. W. (1997). Instructional and contextual effects on external memory strategy use in young children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 67, 204-222.
- Fodor, J. A., & Pylyshyn, Z. W. (1981). How direct is visual perception? Some reflections on Gibson's "ecological approach". *Cognition*, 9, 139-196.
- Friedman, S. L., & Scholnick, E. K. (Eds.). (1997). *The developmental psychology of planning: Why, how, and when do we plan?* Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Fry, E. (1981). Graphical literacy. *Journal of Reading*, 25, 383-390.
- Gattis, M. (2001a). Reading pictures: Constraints on mapping conceptual and spatial schemas. In M. Gattis (Ed.), *Spatial schemas and abstract thought* (pp. 223-245). Cambridge, MA: MIT Press.
- Gattis, M. (Ed.). (2001b). *Spatial schemas and abstract thought*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Gattis, M., & Holyoak, K. J. (1996). Mapping conceptual to spatial relations in visual reasoning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22, 231-239.
- Gauvain, M., & Rogoff, B. (1989). Collaborative problem solving and children's planning skills. *Developmental Psychology*, 25, 139-151.
- Gentner, D., & Markman, A. B. (1997). Structure mapping in analogy and similarity. *American Psychologist*, 52, 45-56.
- Gibson, E. J. (1987). What does infant perception tell us about theories of perception? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 13, 515-523.
- Gibson, E. J. (2000). Where is the information for affordances? *Ecological Psychology*, 12, 53-56.

- Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Gopnik, A., & Meltzoff, A. (1987). The development of categorization in the second year and its relation to other cognitive and linguistic developments. *Child Development*, 58, 1523-1531.
- Gopnik, A., & Meltzoff, A. (1992). Categorization and naming: Basic-level sorting in 18-month-olds and its relation to language. *Child Development*, 63, 1091-1103.
- Greene, T. R. (1989). Children's understanding of class inclusion hierarchies: The relationship between external representation and task performance. *Journal of Experimental Child Psychology*, 48, 62-89.
- Greeno, J. G. (1974). Hobbits and orcs: Acquisition of a sequential concept. *Cognitive Psychology*, 6, 270-292.
- Greeno, J. G. (1989). Situations, mental models, and generative knowledge. In D. Klahr & K. Kotovsky (Eds.), *Complex information processing: The impact of Herbert A. Simon* (pp. 285-318). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Greeno, J. G. (1994). Gibson's affordances. *Psychological Review*, 101, 336-342.
- Greeno, J. G. (1998). The situativity of knowing, learning, and research. *American Psychologist*, 53, 5-26.
- Gurr, C., Lee, J., & Stenning, K. (1998). Theories of diagrammatic reasoning: Distinguishing component problems. *Mind and Machines*, 4, 533-557.
- Hancock, C., Kaput, J. J., & Goldsmith, L. T. (1992). Authentic inquiry with data: Critical barriers to classroom implementation. *Educational Psychologist*, 27, 337-364.
- Hayes-Roth, B., & Hayes-Roth, F. (1979). A cognitive model of planning. *Cognitive Science*, 3, 275-310.
- Holyoak, K. J., & Thagard, P. (1997). The analogical mind. *American Psychologist*, 52, 35-44.
- Intons-Peterson, M. J., & Fournier, J. (1986). External and internal memory aids: When and how often do we use them? *Journal of Experimental Psychology: General*, 115, 267-280.
- Kail, R. (1991). Processing time declines exponentially during childhood and adolescence. *Developmental Psychology*, 27, 259-266.

- Kail, R. (2000). Speed of information processing: Developmental change and links to intelligence. *Journal of School Psychology, 38*, 51-61.
- Kail, R., & Salthouse, T. A. (1994). Processing speed as a mental capacity. *Acta Psychologica, 86*, 199-225.
- Karmiloff-Smith, A. (1979). Micro-and macrodevelopmental changes in language acquisition and other representational systems. *Cognitive Science, 3*, 91-118.
- Karmiloff-Smith, A. (1992). *Beyond modularity: A developmental perspective on cognitive science* (Vol. 3). Cambridge, MA: MIT Press.
- Kintsch, W. (1974). *The representation of meaning in memory*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Klahr, D., & Dunbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive Science, 12*, 1-55.
- Klahr, D., & Robinson, M. (1981). Formal assessment of problem-solving and planning processes in preschool children. *Cognitive Psychology, 13*, 113-148.
- Klahr, D., & Simon, H. A. (1999). Studies of scientific discovery: Complementary approaches and convergent findings. *Psychological Bulletin, 125*, 524-543.
- Konold, C., & Pollatsek, A. (2002). Data analysis as the search for signals in noisy processes. *Journal for Research in Mathematics Education, 33*, 259-289.
- Kosslyn, S. M. (1994). *Elements of graph design*. New York: W.H. Freeman.
- Kotovsky, K., & Fallside, D. (1989). Representation and transfer in problem solving. In D. Klahr & K. Kotovsky (Eds.), *Complex information processing: The impact of Herbert A. Simon* (pp. 69-108). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Kotovsky, K., Hayes, J. R., & Simon, H. A. (1985). Why are some problems hard? Evidence from Tower of Hanoi. *Cognitive Psychology, 17*, 248-294.
- Kreutzer, M. A., Leonard, C., & Flavell, J. H. (1975). An interview study of children's knowledge about memory. *Monographs of the Society for Research in Child Development, 40*, 1-60.
- Krist, H., Fieberg, E. L., & Wilkening, F. (1993). Intuitive physics in action and judgment: The development of knowledge about projectile motion. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 19*, 952-966.
- Larkin, J. H., & Simon, H. A. (1987). Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. *Cognitive Science, 11*, 65-99.
- Latour, B. (1987). *Science in action: How to follow scientists and engineers through society*. Milton Keynes: Open University Press.

- Lave, J. H. (1988). *Cognition in practice: Mind, mathematics, and culture in everyday life*. New York: Cambridge University Press.
- Lee, K., & Karmiloff-Smith, A. (1996a). The development of cognitive constraints on notations. *Archives de Psychologie*, 64, 3-26.
- Lee, K., & Karmiloff-Smith, A. (1996b). The development of external symbol systems: The child as a notator. In R. Gelman & T. Kit-Fong (Eds.), *Perceptual and cognitive development. Handbook of perception and cognition (2nd ed.)*. (pp. 185-211). San Diego, CA: Academic Press.
- Lee, K., Karmiloff-Smith, A., Cameron, C. A., & Dodsworth, P. (1998). Notational adaptation in children. *Canadian Journal of Behavioural Science*, 30, 159-171.
- LeFevre, J., & Dixon, P. (1986). Do written instructions need examples? *Cognition and Instruction*, 3, 1-30.
- Lehrer, R., & Romberg, T. (1996). Exploring children's data modeling. *Cognition and Instruction*, 14, 69-108.
- Leinhardt, G., Zaslavsky, O., & Stein, M. K. (1990). Functions, graphs, and graphing: Tasks, learning, and teaching. *Review of Educational Research*, 60, 1-64.
- Liben, L. S. (1999). Developing an understanding of external spatial representations. In I. E. Sigel (Ed.), (pp. 297-321). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Liben, L. S. (2001). Thinking through maps. In M. Gattis (Ed.), *Spatial schemas and abstract thought* (pp. 45-77). Cambridge, MA: MIT Press.
- Liben, L. S. (2003). Beyond point and shoot: Children's developing understanding of photographs as spatial and expressive representations. *Advances in Child Development and Behavior*, 31, 1-42.
- Liben, L. S., & Downs, R. M. (1992). Developing an understanding of graphic representations in children and adults: The case of GEO-graphics. *Cognitive Development*, 7, 331-349.
- Logie, R. H. (1995). *Visuo-spatial working memory*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Luchins, A. S., & Luchins, E. H. (1950). New experimental attempts at preventing mechanization in problem solving. *Journal of General Psychology*, 42, 279-297.

- Luchins, A. S., & Luchins, E. H. (1969). Einstellung effect and group problem solving. *Journal of Social Psychology*, 77, 78-89.
- Luria, A. R. (1978). The development of writing in the child. In M. Cole (Ed.), *The selected writings of A.R. Luria*. New York: M. Sharpe.
- Luria, A. R. (1981). *Language and cognition*. New York: Wiley Intersciences.
- Lynch, M. (1990). The externalized retina: Selection and mathematization in the visual documentation of objects in the life sciences. In M. Lynch & S. Woolgar (Eds.), *Representation in scientific practice* (pp. 153-186). Cambridge, MA: MIT Press.
- Mandl, H., & Fischer, F. (2000). Mapping-Techniken und Begriffsnetze in Lern- und Kooperationsprozessen. In H. Mandl & F. Fischer (Eds.), *Wissen sichtbar machen: Wissensmanagement mit Mapping-Techniken* (pp. 3-12). Göttingen: Hogrefe.
- Mandler, J. M., Fivush, R., & Reznick, J. S. (1987). The development of contextual categories. *Cognitive Development*, 2, 339-354.
- Mandler, J. M., Seegmiller, O., & Day, J. (1977). On the coding of spatial information. *Memory and Cognition*, 5, 10-16.
- Markman, A. B. (1999). *Knowledge Representation*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Markman, A. B., & Gentner, D. (2001). Thinking. *Annual Review of Psychology*, 52, 223-247.
- McKendree, J., Small, C., Stenning, K., & Conlon, T. (2002). The role of representation in teaching and learning critical thinking. *Educational Review*, 54, 57-67.
- Miller, G. A., Galanter, E., & Pribram, K. H. (1960). *Plans and the structure of behavior*. Oxford: Holt.
- Mumford, M. D., van Doorn, J. R., & Schultz, R. A. (2001). Performance in planning: Processes, requirements, and errors. *Review of General Psychology*, 5, 213-240.
- Namy, L. L., Smith, L. B., & Gershkoff Stowe, L. (1997). Young children's discovery of spatial classification. *Cognitive Development*, 12, 163-184.
- Neurath, O. (1936). *International picture language*. London: Kegan Paul.
- Neurath, O. (1991). *Gesammelte bildpädagogische Schriften*. Wien: Holder-Pichler-Tempsky.

- Newell, A. (1990). *Unified theories of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Norman, D. A. (1993). Cognition in the head and in the world: An introduction to the special issue on situated action. *Cognitive Science*, 17, 1-6.
- Novick, L. R., & Hmelo, C. E. (1994). Transferring symbolic representations across nonisomorphic problems. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 20, 1296-1321.
- Novick, L. R., & Hurley, S. M. (2001). To matrix, network, or hierarchy: That is the question. *Cognitive Psychology*, 42, 158-216.
- Oestermeier, U., & Hesse, F. W. (2000). Verbal and visual causal arguments. *Cognition*, 75, 65-104.
- Olson, D. R. (1986). The cognitive consequences of literacy. *Canadian Psychology*, 27, 109-121.
- Olson, D. R., & Astington, J. W. (1993). Thinking about thinking: Learning how to take statements and hold beliefs. *Educational Psychologist*, 28, 7-23.
- O'Sullivan, L. P., Mitchell, L. L., & Daehler, M. W. (2001). Representation and perseveration: Influences on young children's representational insight. *Journal of Cognition and Development*, 2, 339-365.
- Papert, S. (1993). *The children's machine: Rethinking school in the age of the computer*. New York: Basic Books.
- Pascual-Leone, J. (1970). A mathematical model for the transition rule in Piaget's developmental stages. *Acta Psychologica*, 32, 301-345.
- Piaget, J. (1965). *Die Entwicklung des Zahlbegriffs beim Kinde*. Stuttgart: Klett.
- Piaget, J. (1970). Piaget's theory. In P. H. Mussen (Ed.), *Carmichael's manual of child psychology* (Vol. 1, pp. 703-732). New York: Wiley.
- Piaget, J. (1975). *Die Entwicklung des räumlichen Denkens beim Kinde*. Stuttgart: Klett.
- Pinker, S. (1990). A theory of graph comprehension. In R. Freedle (Ed.), *Artificial intelligence and the future of testing* (pp. 73-126). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Playfair, W. (1805). *An inquiry into permanent causes of the decline and fall of powerful and wealthy nations*. London: Greenland & Norris.



- Rapp, A. F. (1999). *Verstehen Kinder den Nutzen einer Protokolltechnik für die Überprüfung von deterministisch versus probabilistisch funktionierenden Phänomenen?* Unveröffentlichte Diplomarbeit. Universität Heidelberg.
- Rapp, A. F. (2004a). Metakognition. In H. Häcker & K. H. Stapf (Eds.), *Dorsch. Psychologisches Wörterbuch* (S. 597-598). Bern: Huber.
- Rapp, A. F. (2004b). Zone der nächsten Entwicklung. In H. Häcker & K. H. Stapf (Eds.), *Dorsch. Psychologisches Wörterbuch* (S. 1051). Bern: Huber.
- Reder, L. M. (1982). Plausibility judgments versus fact retrieval: Alternative strategies for sentence verification. *Psychological Review*, 89, 250-280.
- Reimann, P., & Rapp, A. F. (unter Begutachtung). Expertiseerwerb. In A. Renkl (Ed.), *Lehrbuch Pädagogische Psychologie*. Bern: Huber.
- Ritter, K. (1978). The development of knowledge of an external retrieval cue strategy. *Child Development*, 49, 1227-1230.
- Rosch, E. (1976). Basic objects in natural categories. *Cognitive Psychology*, 8, 382-439.
- Rumelhart, D. E., & Norman, D. A. (1988). Representation in memory. In R. C. Atkinson (Ed.), *Stevens' handbook of experimental psychology* (pp. 511-587). Oxford: John Wiley.
- Sanfey, A., & Hastie, R. (1998). Does evidence presentation format affect judgment? An experimental evaluation of displays of data for judgments. *Psychological Science*, 9, 99-103.
- Schank, R. C., & Abelson, R. P. (1988). Scripts, plans, goals, and understanding. In A. M. Collins (Ed.), *Readings in cognitive science: A perspective from psychology and artificial intelligence* (pp. 190-223). San Mateo, CA: Morgan Kaufmann.
- Schauble, L. (1990). Belief revision in children: The role of prior knowledge and strategies for generating evidence. *Journal of Experimental Child Psychology*, 49, 31-57.
- Scheele, B., & Groeben, N. (1984). *Die Heidelberger Struktur-Lege-Technik (SLT). Eine Dialog-Konsens-Methode zur Erhebung Subjektiver Theorien mittlerer Reichweite*. Weinheim: Beltz.
- Schnotz, W. (2001). Visuelles Lernen. In D. H. Rost (Ed.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (pp. 778-783). Weinheim: Beltz Psychologie Verlags Union.

- Schoenpflug, W. (1986). The trade-off between internal and external information storage. *Journal of Memory and Language*, 25, 657-675.
- Schunn, C. D., & Klahr, D. (1996). *The problem of problem spaces: When and how to go beyond a 2-space model of scientific discovery*. Paper presented at the Proceedings of the 18th Annual Conference of the Cognitive Science Society, Hillsdale.
- Siegler, R. S. (1995). Children's thinking: How does change occur? In F. E. Weinert & W. Schneider (Eds.), *Memory performance and competencies: Issues of growth and development* (pp. 405-430). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Siegler, R. S. (1996). *Emerging minds: The process of change in children's thinking*. New York: Oxford University Press.
- Siegler, R. S., & Crowley, K. (1991). The microgenetic method: A direct means for studying cognitive development. *American Psychologist*, 46, 606-620.
- Simon, H. A. (1989). The scientist as problem solver. In D. Klahr (Ed.), *Complex information processing: The impact of Herbert A. Simon* (pp. 375-398). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Simon, H. A., & Hayes, J. R. (1976). The understanding process: Problem isomorphs. *Cognitive Psychology*, 8, 165-190.
- Spelke, E. S. (1991). Physical knowledge in infancy: Reflections on Piaget's theory. In S. Carey & R. Gelman (Eds.), *The epigenesis of mind*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Stenning, K. (1999). The cognitive consequences of modality assignment for educational communication: The picture in logic teaching. *Learning and Instruction*, 9, 391-410.
- Stenning, K., & Lemon, O. (2001). Aligning logical and psychological perspectives on diagrammatic reasoning. *Artificial Intelligence Review*, 15, 29-62.
- Stenning, K., & Oberlander, J. (1995). A cognitive theory of graphical and linguistic reasoning: Logic and implementation. *Cognitive Science*, 19, 97-140.
- Sternberg, R. J. (1998). Metacognition, abilities, and developing expertise: What makes an expert student? *Instructional Science*, 26, 127-140.
- Sternberg, R. J. (1999). *Cognitive Psychology*. Fort Worth: Harcourt Brace.
- Stevens, S. S. (1946). On the theory of scales of measurement. *Science Education*, 103, 677-680.

- Suchman, L. A. (1987). *Plans and situated action: The problem of human-machine communication*. New York: Cambridge University Press.
- Sugarman, S. (1982). Developmental change in early representational intelligence: Evidence from spatial classification strategies and related verbal expressions. *Cognitive Psychology*, 14, 410-449.
- Tabachneck-Schijf, H. J. M., Leonardo, A. M., & Simon, H. A. (1997). CaMeRa: A computational model of multiple representations. *Cognitive Science*, 21, 305-350.
- Tufte, E. R. (1983). *The visual display of quantitative information*. Cheshire, CT: Graphics Press.
- Tulving, E. (2002). Episodic memory: From mind to brain. *Annual Review of Psychology*, 53, 1-25.
- Tversky, B. (2001). Spatial schemas in depictions. In M. Gattis (Ed.), *Spatial schemas and abstract thought* (pp. 79-112). Cambridge, MA: MIT Press.
- Tversky, B., Kugelmass, S., & Winter, A. (1991). Cross-cultural and developmental trends in graphic productions. *Cognitive Psychology*, 23, 515-557.
- Tweney, R. D. (2001). Scientific thinking: A cognitive-historical approach. In K. Crowley, C. D. Schunn et al. (Eds.), *Designing for science: Implications from everyday, classroom, and professional settings* (pp. 141-173). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Ullman, S. (1980). Against direct perception. *Behavior and Brain Sciences*, 3, 373-415.
- Vosniadou, S. (1995). Analogical Reasoning in cognitive development. *Metaphor and Symbolic Activity*, 10, 297-308.
- Vygotsky, L. S. (1962). *Thought and language*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Vygotsky, L. S. (1981). The instrumental method in psychology. In J. V. Wertsch (Ed.), *The concept of activity in Soviet psychology* (pp. 134-143). Armonk, NY: Sharpe.
- Wainer, H. (1992). Understanding graphs and tables. *Educational Researcher*, 21, 14-23.
- Weidenmann, B. (1997). Multicodierung und Multimodalität im Lernprozeß. In L. Issing & P. Klimsa (Eds.), *Information und Lernen mit Multimedia* (Vol. 2, pp. 65-84). Weinheim: Beltz Psychologie-Verlags-Union.

- Wertheimer, M. (1938). Laws of organization in perceptual forms. In W. D. Ellis (Ed.), *A source book of Gestalt psychology*. London: Routledge & Kegan Paul.
- Wertheimer, M. (1945). *Produktives Denken*. Frankfurt a.M.: Waldemar Kramer.
- Wertsch, J. V., & Tulviste, P. (1992). L. S. Vygotsky and contemporary developmental psychology. *Developmental Psychology*, 28, 548-557.
- Wilkening, F. (1989). Adaptives Denken von Kindern: Neue Aufgaben in der kognitiven Entwicklung. In W. Schönplflug (Ed.), *Bericht über den 36. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie*. Berlin: Hogrefe.
- Winn, W. (1989). The design and use of instructional graphics. In H. Mandl & J. R. Levin (Eds.), *Knowledge acquisition from text and pictures* (pp. 125-144). Amsterdam: Elsevier.
- Yates, F. (1934). Contingency tables involving small numbers and the  $X^2$ -test. *Journal of the Royal Statistical Society, Supplement*, 1, 217-235.
- Yates, F. A. (1969). *The art of memory*. New York: Penguin.
- Yonas, A., Arterberry, M. E., & Granrud, C. E. (1987). Space perception in infancy. *Annals of Child Development*, 4, 1-34.
- Zacks, J., & Tversky, B. (1999). Bars and lines: A study of graphic communication. *Memory and Cognition*, 27, 1073-1079.
- Zelazo, P. D., Sommerville, J. A., & Nichols, S. (1999). Age-related changes in children's use of external representations. *Developmental Psychology*, 35, 1059-1071.
- Zhang, J. (1997). The nature of external representations in problem solving. *Cognitive Science*, 21, 179-217.
- Zhang, J. (2000). External representations in complex information processing tasks. In A. Kent (Ed.), *Encyclopedia of Library and Information Science* (Vol. 68, pp. 164-180). New York: Marcel Dekker.
- Zhang, J. (in press). From topological perception to distributed cognition. *Visual Cognition*.
- Zhang, J., & Norman, D. A. (1994). Representations in distributed cognitive tasks. *Cognitive Science*, 18, 87-122.

## **Danksagung**

Ganz herzlich bedanken möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Wilkening für die Betreuung der Arbeit sowie für die freundliche, hilfreiche Unterstützung und Diskussionsbereitschaft während der gesamten Durchführung der Arbeit. Ebenso bedanke ich mich bei Herrn Prof. Dr. Marx für die Begutachtung der Dissertation als Zweitreferent.

Großer Dank gilt den Schülern und den Kindergartenkindern, die an den Studien teilgenommen haben sowie Claudia Caviezel, Sylvia Caviezel, Christine Leuthold und Julia Schütz, die mich bei der Datenerhebung unterstützt haben.

Für das Erstellen des „Kugelapparats“ danke ich Herrn Goßweiler von der Technik-Gruppe des Psychologischen Instituts an der Universität Zürich.

Herzlich bedanke ich mich bei Katja Fersching für das Erstellen verschiedener Bilder und für Ihre liebevolle Unterstützung während der ganzen Phase der Dissertation.

Weiter bedanke ich mich bei meinen Eltern, die mir nicht nur mein Zweitstudium in Psychologie ermöglicht, sondern mich auch während der Dissertation in vielerlei Hinsicht unterstützt haben.

Andreas Rapp

# Curriculum vitae von Andreas Friedrich Rapp

## Persönliche Angaben:

Geburtsdatum	24. Januar 1968
Familienstand	ledig
Geburtsort	Esslingen am Neckar, Deutschland
Staatsangehörigkeit	deutsch

## Ausbildung

08/1974 - 05/1987	Besuch von Grundschule und Gymnasium in Esslingen am Neckar. Abitur.
07/1987 - 10/1988	Wehrdienst in Dornstadt (Ulm); 1999 nachträgliche Verweigerung des Wehrdienstes.
10/1988 - 11/1991	Lehramtsstudium für Grund- und Hauptschulen an den Pädagogischen Hochschulen Schwäbisch Gmünd und Ludwigsburg. Erste Staatsprüfung.
02/1992 - 07/1993	Referendariat an der Herderschule Esslingen (GHS), Seminar Nürtingen. Zweite Staatsprüfung.
10/1993	Aufnahme des Psychologiestudiums an der Universität Heidelberg.
10/1996 - 07/1997	Fortsetzung des Psychologiestudiums, Arizona State University.
02/2000	Diplom in Psychologie, Universität Heidelberg. Titel der Diplomarbeit: „Verstehen Kinder den Nutzen einer Protokoll- technik für die Überprüfung von deterministisch versus probabilistisch funktionierenden Phänomenen?“
04/2000 - 12/2000	Mitglied im Virtuellen Graduiertenkolleg „Wissenserwerb und Wissens- austausch mit neuen Medien“ am Psychologischen Institut der Univer- sität Heidelberg (Stipendium der Deutschen Forschungsgesellschaft).
seit 01/2001	Assistent und Doktorand am Psychologischen Institut der Universität Zürich, Allgemeine und Entwicklungspsychologie, Prof. Dr. F. Wilkening.